



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**PENILAIAN POTENSI TANAH LONGSOR  
MENGUNAKAN METODE VLF-EM DI DAERAH JALAN  
RAYA TRENGGALEK-PONOROGO KM 23**

**MUHAMMAD ADI PUTRA  
NRP. 1112 100 056**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Sungkono, M.si.  
NIP. 19850702 201404.1.002**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**PENILAIAN POTENSI TANAH LONGSOR  
MENGUNAKAN METODE VLF-EM DI DAERAH JALAN  
RAYA TRENGGALEK-PONOROGO KM 23**

**MUHAMMAD ADI PUTRA  
NRP.1112 100 056**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Sungkono, M.si.**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**LANDSLIDE POTENTIAL ASSESSMENT USING VLF-EM  
METHOD ON THE TRENGGALEK-PONOROGO KM 23  
HIGHWAY AREA**

**MUHAMMAD ADI PUTRA  
NRP.1112 100 056**

**Supervisor  
Dr. Sungkono, M.si.**

**PHYSICS DEPARTMENT  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017**

**PENILAIAN POTENSI TANAH LONGSOR  
MENGUNAKAN METODE VLF-EM DI DAERAH  
JALAN RAYA TRENGGALEK–PONOROGO KM 23**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi  
Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada  
Bidang Studi Fisika Bumi  
Program Studi S1 Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Disusun Oleh :

**MUHAMMAD ADI PUTRA**  
**NRP. 1112 100 056**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

**PENILAIAN POTENSI TANAH LONGSOR  
MENGUNAKAN METODE VLF-EM DI DAERAH  
JALAN RAYA TRENGGALEK-PONOROGO KM 23**

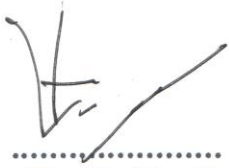
**TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh :

**MUHAMMAD ADI PUTRA  
NRP. 1112 100 056**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

**Dr. Sungkono, M.si.**  
**NIP. 19850702 201404 1 002**

  
.....  
**(Pembimbing I)**



# **PENILAIAN POTENSI TANAH LONGSOR MENGUNAKAN METODE VLF-EM DI DAERAH JALAN RAYA TRENGGALEK–PONOROGO KM 23**

**Nama** : Muhammad Adi Putra  
**NRP** : 1112 100 056  
**Pembimbing** : Dr. Sungkono, M.Si.

## ***Abstrak***

*Longsor di Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek KM 23 kemungkinan disebabkan oleh adanya retakan yang telah terisi fluida. Hal ini dibuktikan bahwa rumah-rumah disekitar lokasi longsor, ditemukan retakan-retakan kecil. Untuk itu perlu dilakukan pemetaan persebaran aliran fluida dibawah permukaan menggunakan metode Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM). Hasil dari pengolahan metode VLF-EM, dapat diinterpretasikan secara kualitatif menggunakan filter Fraser dan Karous-Hjelt. Dan analisa kuantitatif (inversi). Analisa Kualitatif digunakan untuk mengidentifikasi lokasi anomali, sedangkan proses inversi untuk mengetahui nilai resistivitas 2D. Hasil inversi tersebut dimodelkan untuk menghasilkan model Resistivitas 3 Dimensi. Hasilnya ialah terdapat beberapa anomali dengan nilai resistivitas rendah  $\pm 8$  ohm meter, yang berkorelasi dengan adanya retakan. Nilai resistivitas rendah disebabkan adanya batuan yang telah tersaturasi dengan fluida. Oleh karena itu, posisi resistivitas rendah ini mengindikasikan bahwa posisi yang berpotensi terjadinya longsor.*

***Kata kunci:*** Inversi, Longsor, Saturasi Fluida, Resistivitas 3D.

# LANDSLIDE POTENTIAL ASSESSMENT USING VLF-EM METHOD ON THE TRENGGALEK- PONOROGO KM 23 HIGHWAY AREA

**Name** : Muhammad Adi Putra  
**NRP** : 1112100056  
**Supervisor** : Dr. Sungkono, M.Si.

## ***Abstract***

*A landslide on the Ponorogo-Trenggalek KM 23 highway is likely caused by the presence of the cracks that filled by the fluid. It is proven by the presence of some small cracks on the houses around the landslide area. Therefore, it is necessary to map the fluid distribution in the subsurface using the Very Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM) method. The result of the VLF-EM data can be interpreted using Fraser and Karous-Hjelt filters (qualitative) and also inversion method (quantitative). Qualitative analysis is used to identify the anomaly location. Otherwise, the inversion process is used to determine 2D resistivity. The inversion result is to produce 3D Resistivity model. Based on the result, there are a few anomalies with low resistivity value  $\pm 8$  ohm-metres, which is correlated with the cracks in the area. This low resistivity value caused by the rocks which contained by fluid. thus the low resistivity indicates that the potential occurrence of landslides.*

***Keywords:*** Inversion, Landslide, Resistivitas 3D, Water Saturation.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Peneitian Tugas Akhir yang berjudul “penilaian potensi tanah longsor menggunakan metode VLF-EM di daerah jalan raya trenggalek–ponorogo km 23”.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, telah banyak daya, upaya, dan perjuangan yang dilakukan oleh penulis. Atas bantuan, dorongan dan juga bimbingan dari berbagai pihak maka akhirnya penulis dapat menyelesaikan Penelitian Tugas Akhir ini dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Sungkono, M.Si., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa tulus memberi motivasi dan ilmu dalam membimbing penulis.
2. Bapak Dr.rer.nat Eko Minarto, Hasto Sunarno M.Si., selaku dosen penguji tugas akhir.
3. Orang tua penulis Gatot Trisno Adi, Khoirun Nisa, kakak penulis Hidayati Adi Putri S.Far., adik penulis Nur Rohmat Adi Putra dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan positif untuk penulis.
4. Arinta Nur Setya Sari terkasih yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan positif untuk penulis.
5. Bapak Lilla Yuwana M.Si dan Bapak Endarko, M.Si., Ph.D, selaku dosen wali yang senantiasa tulus memberi motivasi dan ilmu dalam membimbing penulis.
6. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Ketua Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Habib Thabrani, Dewa Wiradipta, M. faisal Alwi, Nadhillah Safitri, Rijalul Fikri, Andika Irawan, Rina Rezkia R.P., Lazuardi Akmal, dan teman-teman yang tidak bisa



penulis sebutkan satu-satu yang telah memberikan pelajaran kehidupan kepada penulis.

8. Teman-teman FBI (Fisika angkatan 2012), atas kekeluargaannya selama ini yang selalu terjalin.
9. Keluarga Ibu Uli (Ibunya Maya 2015) dan keluarga daerah Penelitian yang telah membantu dalam melancarkan Penelitian.
10. Laboran Geofisika Pak Kiswanto yang telah bersedia memberikan ilmu yang berharga dalam pengambilan data.
11. Teman-teman Geofisika (Fandy, Oman, Getex, Husein, U'ung, Yayan, Kiki, Meme, Shona) yang telah menemani penulis selama di Lab Geofisika.
12. Rekan-rekan seperjuangan yang tergabung dalam Keluarga Besar Himasika ITS, terima kasih atas kebersamaan perjuangan kalian.
13. Semua pihak yang turut membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis berharap laporan penelitian Tugas Akhir ini nantinya akan dapat berguna dan dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam peningkatan efisiensi arus dan produksi di smelter aluminium.

Surabaya, Juni 2017

Muhammad Adi Putra  
NRP. 1112 100 056

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>URAIAN SINGKAT.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Geologi Regional.....	5
2.2 Longsor.....	6
2.3 <i>Very Low Frequency (VLF-EM)</i> .....	7
2.4 Noise VLF.....	11
2.5 Filtering NA-MEMD.....	12
2.6 Filter Fraser dan Karous-HJelt.....	14
2.7 Inversi VLF-EM.....	17
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1 Tahap Penelitian.....	21
3.1.1 Studi Literatur.....	22
3.1.2 Survey Awal.....	22
3.1.3 Akusisi Data VLF-EM.....	23
3.1.4 Pengolahan.....	25
<b>BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Analisa Kualitatif.....	27

4.1.1 <i>Filter NA-MEMD</i> .....	27
4.1.2 Filter Fraser dan Karous-Hjelt.....	30
4.2 Analisa Kuantitatif.....	31
4.3 Model 3 Dimensi.....	42
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	49
<b>LAMPIRAN</b> .....	53
<b>RIWAYAT PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Longsor Jalan Raya Ponorogo Trenggalek.....	1
Gambar 2.1	Geologi Regional daerah penelitian.....	5
Gambar 2.2	Distribusi Medan Elektromagnetik untuk metode VLF dalam polarisasi listrik dengan sinyal diatas sebuah dike konduktif vertikal.	8
Gambar 2.3	Hubungan fase Gelombang Primer dan Sekunder.....	11
Gambar 2.4	Pemisahan IMF (a) penentuan nilai rata-rata ( $m_1$ berwarna merah muda) (b) hasil pengurangan sinyal dengan nilai $m_1$ .....	13
Gambar 2.5	Respon pengukuran dari (a) data sintetik VLF-EM, (b) data yang telah terfilter Fraser, dan (c) Model anomali.....	15
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian.....	21
Gambar 3.2	Kondisi aktual pada (a) sebelah barat area pengukuran (b) sebelah utara area pengukuran (Jalan raya).....	22
Gambar 3.3	Lintasan pengukuran terdapat 8 <i>line</i> .....	23
Gambar 3.4	peralatan akuisisi data berupa (a) satu set VLF-EM <i>Envy Scintrex</i> , (b) GPS Garmin, (c) meteran.....	24
Gambar 4.1	Korelasi antara data <i>inphase</i> dan <i>quadrature</i> sebelum dilakukan <i>filtering</i> (Lintasan 3).....	27
Gambar 4.2	Hasil Dekomposisi antara data <i>inphase</i> dan <i>quadrature</i> (lintasan 3).....	28
Gambar 4.3	Hasil Korelasi antara data <i>inphase</i> dan <i>quadrature</i> setelah dilakukan <i>filtering</i> (lintasan 3).....	29
Gambar 4.4	nilai <i>Inphase</i> dan <i>quadrature</i> (a) sebelum dilakukan filter Fraser (b) setelah dilakukan filter Fraser (lintasan 1).....	30

Gambar 4.5	Peta kontur 2D rapat arus data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 1 (a) anomali konduktif (b) anomali resistif.....	31
Gambar 4.6	Hasil inversi data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 1.....	32
Gambar 4.7	Kondisi Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek akibat longsor.....	33
Gambar 4.8	Hasil inversi data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 2.....	34
Gambar 4.9	Kondisi bekas longsor pada lintasan 2.....	35
Gambar 4.10	Hasil inversi data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 3.....	36
Gambar 4.11	Kondisi longsor pada lintasan 3.....	36
Gambar 4.12	Hasil inversi data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 4.....	36
Gambar 4.13	Kondisi patahan jalan setapak pada lintasan 4.....	37
Gambar 4.14	Hasil inversi data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 5.....	37
Gambar 4.15	Hasil inversi data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 6.....	38
Gambar 4.16	Hasil inversi data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 7.....	39
Gambar 4.17	Hasil inversi data <i>Inphase</i> dan <i>Quadrature</i> pada lintasan 5.....	40
Gambar 4.18	Hasil plot 3D persebaran fluida.....	41
Gambar 4.19	Hasil model 3D dengan sayatan horisontal tiap kedalaman.....	42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Variasi Skin Depth sebagai fungsi frekuensi gelombang dan resistivitas $\rho$ .....	9
-----------	---	---

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Plot data pengukuran <i>inphase quadrature</i> VLF-EM tanpa filter
Lampiran 2	Hasil filter NA-MEMD, <i>Fraser</i> , <i>Karous-Hjelt</i>
Lampiran 3	Hasil inversi 2D bawah permukaan



***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan daerah perbukitan atau pegunungan yang membentuk lahan miring. Selain itu, jenis tanah yang sering dijumpai di Indonesia adalah tanah pelapukan sebagai hasil letusan gunung api. Tanah lapuk yang berada pada daerah pegunungan atau perbukitan dengan kemiringan yang cukup terjal, tanah ini berpotensi longsor. Salah satu wilayah Indonesia yang daerah perbukitan dan berpotensi longsor yaitu daerah Ponorogo.

Bemmelen (1949) berpendapat bahwa fisiografi daerah ponorogo berada pada subzona solo bagian tengah. Subzona ini dibentuk oleh deretan gunung api kuarter dan dataran antar gunung api yang tersusun atas satuan breksi gunungapi, lava, tuf, sisipan batuberpasir, dan batulanauan. Sehingga beberapa titik pada daerah ponorogo dapat berpotensi terjadinya longsor. Salah satunya pada jalan raya Ponorogo-Trenggalek KM 23 yang telah terjadi longsor pada Bulan Desember 2016 seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Longsor Jalan Raya Ponorogo Trenggalek

Sebenarnya yang menjadi penyebab terbesar terjadinya longsor (Sassa et al., 2015), yaitu: hujan (57%), getaran gempa bumi (20%). Hujan (fluida) yang masuk kedalam tanah dan tersaturasi pada batuan mempengaruhi nilai konduktivitas batuan. Sehingga nilai potensi longsor berhubungan dengan nilai konduktivitas suatu batuan. Menurut Grandis (2009), VLF-EM merupakan metode geofisika yang mampu mengetahui karakteristik fluida dengan memanfaatkan konduktivitas pelapisan bumi. Sehingga metode ini dirasa mampu untuk membantu dalam penelitian ini.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian tugas akhir ini, antara lain :

1. Bagaimana mengetahui nilai potensi longsor menggunakan metode VLF-EM ?
2. Bagaimana menentukan model bawah permukaan daerah potensi longsor dari inversi data VLF-EM?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ialah :

1. Mengetahui nilai potensi longsor menggunakan metode VLF-EM
2. Menentukan model bawah permukaan daerah potensi longsor dari inversi data VLF-EM

## **1.4 Batasan Masalah**

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini tidak melebar, maka permasalahan ini dibatasi beberapa hal sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian berada di Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo KM 23
2. Metode yang digunakan ialah VLF-EM
3. Filter yang dipakai untuk menghilangkan *noise* ialah *Filter NA-MEMD*

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian yang berjudul “Penilaian Potensi Tanah Longsor Menggunakan Metode VLF-EM di Daerah Jalan Raya Trenggalek–Ponorogo KM 23” ini berupa gambaran tentang model bawah permukaan 2D, dan 3D, serta menentukan bidang longsor dengan mengetahui nilai resistivitas batuan. Hasil penelitian tugas akhir ini dapat dijadikan rujukan untuk masyarakat sekitar, untuk lebih berhati-hati dengan bahaya longsor pada daerah tersebut.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

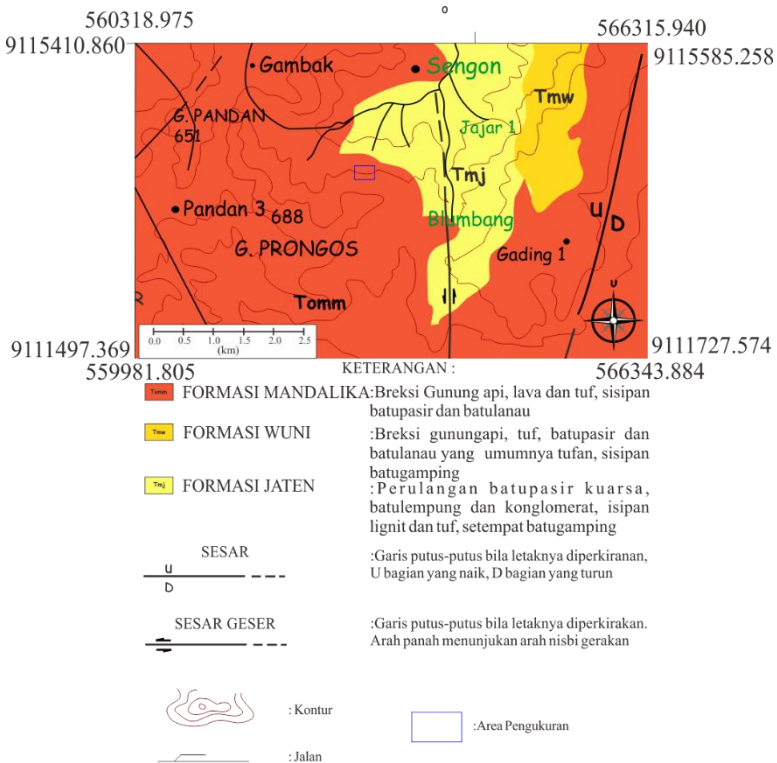
1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung penelitian.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi uraian alat dan bahan, data penelitian, *software* yang digunakan dalam penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. Bab IV – Analisa Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil-hasil yang didapat dari pengerjaan pada penelitian ini.
5. Bab V – Penutup, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, berisi data-data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian.

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

Daerah penelitian tugas akhir ini berada di Desa Nglinggis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Ponorogo. Dapat dilihat pada Gambar 2.1. Daerah penelitian merupakan Formasi Mandalika. Formasi Mandalika terdiri dari satuan Breksi gunung api, lava dan tuf, sisipan batupasir dan batulanau.



Gambar 2.1 Geologi daerah penelitian (diambil dan digambar ulang dari Samodra, 1992)

Kotak berwarna biru, pada Gambar 2.1 merupakan daerah penelitian. Sebelah timur dapat dilihat terdapat sesar geser dengan jarak  $\pm 2$  km dari daerah penelitian. Daerah ini merupakan daerah dataran tinggi dengan rata-rata elevasi  $\pm 410$  m.

## 2.2 Longsor

Longsor merupakan peristiwa geologi yang disebabkan oleh pergerakan massa batuan, atau tanah yang menuruni suatu lereng. Menurut Shi et al. (2016) longsor memerlukan perhatian yang lebih sebagai salah satu bencana yang dapat menyebabkan kematian. Adapun jenis-jenis longsor yang sering terjadi antara lain (Sassa et al., 2015): *slide* (tanah yang tergelincir) dengan berbagai macam tipe gelinciran yang terjadi, *Fall* (Runtuhan) yaitu seperti bongkahan batu yang jatuh dari lereng yang curam atau tebing, *Topples* atau biasa dicirikan dengan robohnya unit batuan dengan cara berputar kedepan pada satu titik sumbu, dan gabungan antara dua atau lebih jenis longsor. Secara garis besar tanah longsor disebabkan oleh beberapa hal, yaitu: curah hujan, aktivitas seismik maupun vulkanik, pelapukan dan erosi, aktifitas manusia.

Menurut Sassa et al. (2015), hujan dan getaran yang merambat pada daerah longsor sebagai penyebab terbanyak pada tanah longsor. Hujan berkaitan dengan fluida yang tersaturasi pada batuan yang berlebih dapat menyebabkan ikatan antara butir pada tanah menjadi lemah, sedangkan energi getaran yang merambat pada batuan akan menyebabkan gerakan pada butiran tanah. Jika tanah bergerak bersamaan dengan jumlah yang banyak, maka longsor pun terjadi. Pada musim kemarau juga dapat mengakibatkan longsor akibat penguapan yang terjadi pada tanah atau batuan, sehingga air yang berada pada porositas batuan akan menguap dan mengakibatkan rekahan dan retakan tanah. Sehingga pada musim hujan, air akan masuk melalui rekahan-rekahan tersebut yang mengakibatkan menambah massa tanah yang akan mengakibatkan longsor.

Selain itu getaran merupakan penyebab kedua yang menjadikan tanah rentan akan terjadinya longsor (Sassa et al., 2015). Getaran tersebut bisa disebabkan oleh beberapa hal, misalnya gempa bumi, meletusnya gunung berapi, dan getaran lalu lintas. Selain itu terjalnya lereng juga mempengaruhi tanah tersebut mudah longsor. Longsor juga dapat disebabkan karena jenis batuan. Jenis batuan yang dimaksud ialah endapan gunung api yang umumnya mudah terkena pelapukan dan mudah berubah bentuk (Shi et al., 2016).

Penyebab selanjutnya ialah akibat dari ulah manusia, yaitu pemotongan tebing dan penimbunan lembah dalam rangka memperluas dan mengembangkan area pemukiman, aktifitas penambangan bebatuan berupa pasir atau tanah dalam skala yang besar. Penggundulan hutan juga termasuk perbuatan manusia yang dapat mengakibatkan longsor yang dikarenakan ikatan tanah berkurang. Pembuangan sampah yang dapat menambah beban massa tanah yang mengakibatkan ketidakseimbangan tanah sehingga juga menyebabkan longsor.

### **2.3 Very Low Frequency (VLF-EM)**

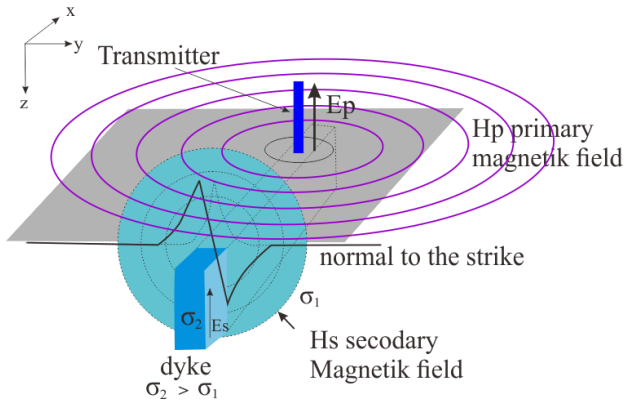
Menurut Sharma et al. (2014) VLF-EM merupakan metode geofisika yang paling sederhana untuk menggambarkan struktur bawah permukaan. Metode ini memanfaatkan medan elektromagnetik yang diperoleh dari pemancar radio berfrekuensi sangat rendah. Frekuensi ini biasanya digunakan untuk kepentingan navigasi kapal selam pada medium udara dengan jarak yang sangat jauh. Frekuensi yang digunakan pada pemancar radio ini antara 15 kHz hingga 30 kHz dengan panjang gelombang dari 10 hingga 20 kilometer. Sehingga, menurut Hunsucker (2009), metode VLF-EM ini dalam perambatannya dapat mengalami difraksi dalam hambatan yang besar dan dapat mengalami penyebaran sebagai gelombang *ground* mengikuti bentuk permukaan bumi. Metode VLF memanfaatkan medan elektromagnetik yang didapatkan dari pemancar radio. Pemancar radio ini biasanya memiliki ketinggian sekitar 200 hingga 300 meter dengan daya pancar sebagai berikut (Watts, 1978) :



$$P = 7 \times 10^{-13} V^2 C^2 h_e^2 f^4 \quad (2.1)$$

Dengan  $V$  menotasikan tegangan yang melewati antenna,  $C$  menotasikan kapasitansi antenna termasuk bagian atas,  $h_e$  menotasikan ketinggian efektif antenna atau dapat didekati dengan ketinggian  $h$  sebenarnya, dan  $f$  menotasikan frekuensi yang dioperasikan.

Prinsip pengukuran metode VLF yaitu memanfaatkan gelombang hasil induksi elektromagnet yang dirambatkan di antara permukaan bumi dan ionosfer. Komponen medan magnet dari gelombang elektromagnetik primer akan menginduksi batuan yang konduktif sebagai medium, sehingga akan menimbulkan arus induksi yang disebut dengan *Eddy Current*.



Gambar 2.2 Distribusi Medan Elektromagnetik untuk metode VLF dalam polarisasi listrik dengan sinyal diatas sebuah dike konduktif vertikal (diambil dan digambar ulang dari Wijaya, 2014).

Gambar 2.1 dapat dijelaskan bahwa prinsip kerja dari metode VLF-EM yaitu melalui kumparan kawat (transmitter) dengan melewatkan arus AC sehingga menghasilkan medan magnet primer. Medan magnet yang dihasilkan memiliki 2 komponen berupa medan listrik yang merambat secara vertikal

dilambangkan dengan  $E_p$  dan medan magnet yang merambat secara horisontal dilambangkan dengan  $H_p$ . Apabila di dalam tanah terdapat benda atau material konduktif, komponen magnetik akan menginduksi sehingga akan timbul arus induksi (*Eddy current*) di dalam konduktor. Kemudian arus Eddy menghasilkan medan magnet sekunder yang terdeteksi oleh penerima. Medan elektromagnet yang terdeteksi oleh penerima merupakan kombinasi dari medan elektromagnet primer dan sekunder yang memiliki fase dan amplitudo yang berbeda. Menurut Indriyani (2014), Nilai medan magnet sekunder bergantung dari nilai resistivitas batuan.

Secara fisis medan elektromagnet yang merambat dalam konduktifitas batuan memanfaatkan persamaan Maxwell yang dituliskan dalam domain frekuensi berikut :

$$\nabla^2 \vec{H} = i\omega\mu\sigma\vec{H} - \omega^2\epsilon\mu\vec{H} \quad (2.2)$$

$$\nabla^2 \vec{E} = i\omega\mu\sigma\vec{E} - \omega^2\epsilon\mu\vec{E} \quad (2.3)$$

Dengan  $\sigma$  mendeskripsikan konduktifitas listrik (ohm/m),  $\mu$  merupakan permeabilitas (H/m), dan  $\omega$  menotasikan frekuensi sudut. Sehingga dari Persamaan (2.2) dan (2.3) dapat dijabarkan dalam 3 Dimensi menjadi persamaan berikut :

$$\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}\right)i + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x}\right)j + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y}\right)k = (\sigma + i\omega\epsilon)(E_x i + E_y j + E_z k) \quad (2.4)$$

$$\left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}\right)i + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}\right)j + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}\right)k = -i\omega\mu(H_x i + H_y j + H_z k) \quad (2.5)$$

Selanjutnya, dengan mengasumsikan bahwa gelombang datar adalah gelombang yang miring terhadap permukaan bumi pada bidang y-z arah sumbu z, maka komponen medan EM dan

admittivitas ( $\sigma + i\omega \epsilon$ ) hanya bervariasi pada arah y dan z. Dalam Persamaan (2.4) dan (2.5) pada kasus 2D, apabila diturunkan pada turunan pertama terhadap komponen x bernilai nol. Maka, komponen EM dapat diuraikan dalam bentuk TE (*Transverse Electric*) dan TM (*Transverse Magnetic*) sebagaimana Persamaan (2.6) dan (2.7) berikut:

- *TE mode*

$$\begin{aligned}\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} &= (\sigma + i\omega \epsilon) E_x \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} &= -i\omega \mu H_y \\ \frac{\partial E_x}{\partial y} &= i\omega \mu H_z\end{aligned}\tag{2.6}$$

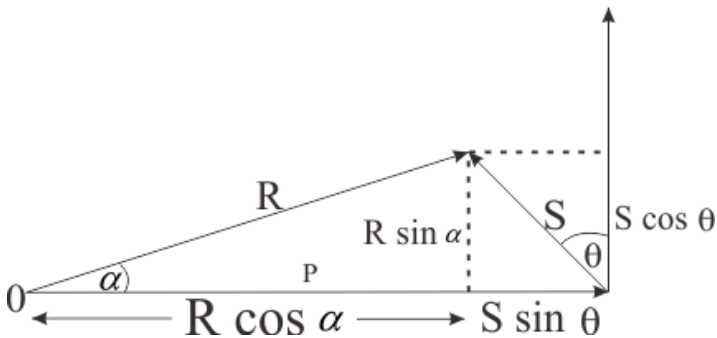
- *TM mode*

$$\begin{aligned}\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} &= (\sigma + i\omega \epsilon) H_x \\ \frac{\partial H_x}{\partial z} &= (\sigma + i\omega \epsilon) E_y \\ \frac{\partial H_x}{\partial y} &= (\sigma + i\omega \epsilon) E_z\end{aligned}\tag{2.7}$$

Penjalaran gelombang pada alat VLF umumnya dalam mode TE (Fikri, 2017). Hasil pada alat VLF berupa data triper (Hz/Hy) yang mempunyai bilangan kompleks akibat dari polarisasi antara Hz dan Hy yang berbentuk *ellips* atau lingkaran bergantung nilai besaran dari Hz dan Hy. Berbentuk elips jika Hz dan Hy mempunyai besar yang tidak sama, sebaliknya berbentuk lingkaran apabila mempunyai nilai yang sama. Kombinasi medan

primer sefase dengan medan sekunder atau dengan kata lain “*real data triper*” disebut dengan *inphase*, sedangkan medan magnet primer berbeda fase dengan medan magnet sekunder dengan kata lain “*imaginer*” disebut dengan *quadrature*. Data triper bernilai bagus apabila digunakan untuk memetakan perbedaan konduktivitas secara lateral dan kurang bagus jika digunakan untuk memetakan perbedaan konduktivitas secara vertikal.

Gambar 2.2 merupakan gelombang primer elektromagnetik menginduksi benda bawah permukaan dan menghasilkan gaya gerak listrik induksi (GGL). GGL induksi  $e_s$  akan muncul dengan frekuensi yang sama tetapi mengalami ketinggalan fase  $90^\circ$  (Kaikkonen, 1979). *Inphase* merupakan kombinasi antara medan magnet primer dan medan magnet sekunder (  $R \cos \alpha$  ) dan komponen medan yang tegak lurus (  $R \sin \alpha$  ) disebut dengan *Quadrature*.



Gambar 2.3 Hubungan fase Gelombang Primer dan Sekunder (diambil dan digambar ulang dari Indriyani, 2014)

## 2.4 Noise VLF

Dalam proses pengukuran data VLF tentunya terdapat suatu gangguan (*noise*). Sumber gangguan utama VLF merupakan adanya radiasi medan elektromagnetik akibat dari lingkungan sekitar maupun jarak yang jauh dari daerah

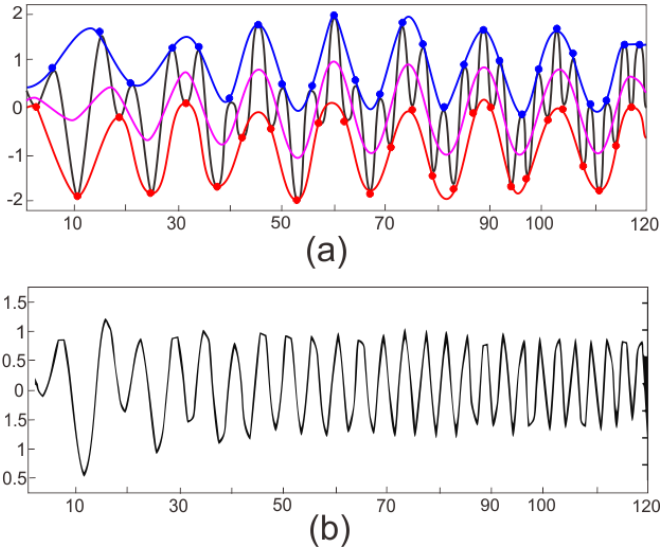
pengukuran data. Selain itu, radiasi medan elektromagnet yang ada disekitar dapat melemahkan sinyal yang dipancarkan oleh pemancar VLF. Radiasi medan elektromagnet yang dimaksud berupa variasi harian medan elektromagnetik bumi. Hal ini terjadi karena adanya pergerakan badai dari arah timur ke barat yang terjadi pada siang hingga sore hari. Gangguan ini ditandai dengan naiknya secara kuat medan listrik vertikal dan medan horizontal secara tiba-tiba.

## 2.5 Filtering NA-MEMD

Pada pengukuran VLF-EM didapatkan data berupa *inphase*, *quadrature*, tilt, dan Tfield. Namun pada pengolahan inversi, yang dibutuhkan dalam menampilkan karakteristik anomali konduktif atau resistif biasanya menggunakan data *inphase* dan *quadrature* saja. Dengan kata lain data ini merupakan data bivariate (Sungkono et al., 2014).

Filter *Noise Assisted-Multivariate Empirical Mode Decomposition* (NA-MEMD) merupakan suatu algoritma yang diusulkan oleh Rehman dan Mandic (2011). Algoritma ini mampu menguraikan data bivariate kedalam beberapa mode dan mereduksi noisenya secara bersamaan. Penguraian data pada metode ini mempunyai keunggulan dalam analisis data yang *multivariate*, yaitu pemisahan data menjadi beberapa IMF (*Intrinsic Mode Function*) melibatkan persamaan berikut :

$$h_1 = x(t) - m_1 \quad (2.8)$$



Gambar 2.4 Pemisahan IMF (a) penentuan nilai rata-rata ( $m_1$  berwarna merah muda) (b) hasil pengurangan sinyal dengan nilai  $m_1$ . (diambil dan digambar ulang dari Flandrin, 2003)

Dengan  $x(t)$  merupakan sinyal input yang akan dilakukan pemisahan IMF,  $m_1$  menotasikan nilai rata-rata dari puncak dan palung yang telah terinterpolasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 (a).  $h_1$  merupakan hasil pengurangan sinyal terhadap nilai rata-ratanya seperti pada Gambar 2.3(b). Nilai  $h_1$  harus memenuhi syarat dari sifat-sifat IMF. Terdapat 2 Sifat IMF yaitu apabila nilai *extrema* tidak sama dengan nilai *zero crossing*. Kondisi kedua yaitu nilai  $m_1$  sama dengan 0. Apabila kedua syarat tersebut belum terpenuhi, maka dilakukan iterasi untuk mendapatkan nilai  $h_{11}$  dalam persamaan berikut:

$$h_{11} = h_1 - m_{11} \quad (2.9)$$

$$h_{11} = h_{1(k-1)} - m_{1k} \quad (2.10)$$

$$c_1 = h_{1k} \quad (2.11)$$

Persamaan 2.9 hingga persamaan 2.11 merupakan pengulangan untuk mendapatkan nilai  $h_{1k}$ , sehingga syarat IMF terpenuhi.  $c_1$  merupakan Hasil dari IMF1. Selanjutnya dalam menentukan IMF $n$  dilakukan proses yang sama. *Filter NA-MEMD* didapatkan dari proses penjumlahan beberapa IMF yang diyakini mencerminkan data yang bebas noise.

## 2.6 Filter Fraser dan Karous-HJelt

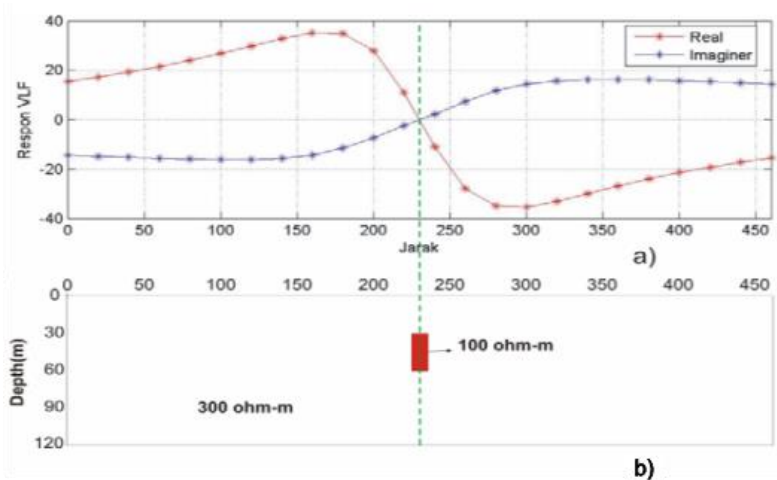
Posisi anomali yaitu terdapat potongan titik (*inflection point*) dimana *inphase* dan *quadrature*nya mengalami persilangan dari polaritas positif menjadi negatif yang diinterpretasi sebagai posisi konduktor. Namun letak titik tersebut tidak dapat diidentifikasi dengan mudah. Salah satu cara menyelesaikannya yaitu dengan menggunakan Filter Fraser.

Filter ini didesain untuk membagi data tilt angle dengan  $90^0$ , sehingga persilangan menjadi maksimum. Filter ini juga melemahkan panjang gelombang yang terlalu besar untuk mengurangi efek topografi, dan juga mampu mengurangi efek pelemahan dari variasi temporal kuat sinyal pemancar. Filter ini diperoleh dari persamaan berikut:

$$F_n = (M_n + M_{n+1}) - (M_{n+2} + M_{n+3}) \quad (2.12)$$

Dengan  $M_n, M_{n+1}, M_{n+2}, M_{n+3}$ , merupakan data yang terukur (baik data real atau imajiner) dengan interval waktu  $\Delta x$  untuk ke  $F_n$  yang telah terfilter dari data yang didapatkan.

Persamaan 2.12 merupakan prinsip dasar dari filter Fraser yaitu menggunakan 4 buah titik yang berurutan, dengan mengurangi jumlah dari nilai data ke-3 dan ke-4 terhadap jumlah dari nilai data ke-1 dan ke-2. Kemudian digambarkan pada titik tengah antara data ke-2 dan ke-3.



Gambar 2.5 Respon pengukuran dari (a) data sintetik VLF-EM dan (b) Model anomali. (Flandrin, 2003)

Gambar 2.5 merupakan contoh aplikasi dari filter Fraser. Titik-titik hijau memperlihatkan posisi benda pada sumbu-x. Gambar 2.5 (a) berupa data sintetik VLF-EM dengan anomali terletak pada *zero-crossing* dari data *inphase* dan *quadrature*. Setelah dilakukan *Filtering*, maka letak anomali diidentifikasi terletak ketika nilai *inphase* maksimum, dan nilai *quadrature* minimum.

Filter Karous-Hjelt merupakan filter yang dikembangkan dari konsep medan magnetik yang berhubungan dengan aliran arus listrik (Sharma et al., 2014). Hasil yang diperoleh dari filter ini berupa peta kontur 2 dimensi, dan menghasilkan profil kedalaman dari rapat arus yang diturunkan dari nilai komponen



vertikal medan magnetik pada setiap titik pengukuran. Pengolahan data menggunakan Karous-Hjelt sesuai dengan persamaan berikut:

$$\frac{\Delta z}{2\pi} I_a(0) = -0.102M_{n-3} + 0.059M_{n-2} - 0.561M_{n-1} + 0.561M_{n+1} - 0.059M_{n+2} + 0.102M_{n+3} \quad (2.13)$$

Dengan  $M_n = H_z / H_x$  merupakan nilai yang terukur pada alat.

Filter Karous H-jelt menghitung sumber arus ekivalen pada kedalaman tertentu yang umumnya dikenal sebagai rapat arus. Posisi rapat arus dapat menjadi alat untuk menginterpretasi lebar dari anomali. Namun dalam fungsi kedalaman masih belum akurat (*Pseudosections*) (Sengupta, 2014). Hal ini dikarenakan bentuk dasar penyaringan Karous-Hjelt tidak memperhitungkan bahwa medan EM menipis dalam medium konduktif. Inilah salah satu alasan *pseudosections* cenderung meningkat dalam amplitudo ke kedalaman yang lebih dalam (Suyanto, 2007). Sehingga diberikan nilai kedalaman kulit sebagai fungsi normalisasi tambahan dari bentuk  $e^{(-\delta/z)}$ , dengan  $\delta$  menotasikan *skin depth* dalam bentuk persamaan berikut :

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{2}{\mu_0 \sigma \omega}\right)} \approx 504 \sqrt{(\rho/f)} \quad (2.14)$$

Dengan demikian, kedalaman pada saat amplitudo menjadi  $1/e$  dikenal sebagai kedalaman kulit (*skin depth*), yang di implementasikan kedalam Tabel 1.1 berikut :

Tabel 1.1 Variasi Skin Depth sebagai fungsi frekuensi gelombang dan resistivitas  $\rho$  (Grant and West, 1965)

<b>Skin Depth (m)</b>				
<b>F(Hz)</b>	<b>Resistivitas (Ohm meter)</b>			
	<b>0.01</b>	<b>1</b>	<b><math>10^2</math></b>	<b><math>10^4</math></b>
0.01	500	5000	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^5$
10	16	160	1600	16000
$10^3$	1.6	16	160	1600
$10^4$	0.5	5	50	500
$10^5$	0.16	1.6	16	160

## 2.7 Inversi VLF-EM

Untuk melakukan sebuah interpretasi data kuantitatif VLF pada fungsi kedalaman, dapat dilakukan dengan menerapkan proses inversi. Inversi merupakan suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematis untuk mendapatkan informasi yang berguna dalam mengetahui distribusi sifat fisis bawah permukaan (Supriyanto, 2007). Dalam mengetahui lapisan bawah permukaan dibutuhkan parameter fisis yang berkaitan dengan resistivitas semu dan fase TE yang merupakan nilai resistivitas batuan. Sehingga untuk memodelkan parameter fisis tersebut, dapat dilakukan terlebih dahulu dengan mengubah bentuk analog menjadi diskrit parameter fisis dari lapisan bumi tersebut (Ghufron, 2010). Bentuk umum dari inversi VLF-EM dapat ditulis dalam Persamaan 2.15 :

$$\Delta d = A \cdot \Delta m \quad (2.15)$$

dengan  $\Delta d$  merupakan selisih antara data observasi dengan parameter model,  $\Delta m$  adalah selisih model awal  $m^k$  dengan model  $m^{k+1}$  resistivitas suatu batuan (Sasaki, 2001). Untuk proses inversi data VLF-EM, fungsi objektif yang harus diminimumkan ialah sebagai berikut:

$$U = \|W_d(A\Delta m - \Delta d)\|^2 + \lambda \left[ \|Cm^{(k+1)}\|^2 + \alpha \|W_d(m^{(k+1)} - m_b)\|^2 \right] \quad (2.16)$$

Persamaan 2.16 terdapat matriks pembobot  $W_d$  pada diagonal yang terdiri dari data standar deviasi atau data amplitudo jika diasumsikan memiliki presentase yang sama dengan standar deviasi. C digunakan untuk mendefinisikan model penghalus.  $W_m$  merupakan matriks pembobot diagonal yang digunakan untuk mengurangi matrik identitas jika pembobot yang sama untuk semua parameter model. Sehingga Persamaan 2.16 dapat diminumkan nilai errornya dengan syarat  $\frac{\partial U}{\partial \Delta m} = 0$ , sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$(A^T W_d^T W_d A + \lambda C^T C + \lambda \alpha W_m^T W_m) \Delta m = A^T W_d^T W_d \Delta d - \lambda C^T C m^{(k)} + \lambda \alpha W_m^T W_m (m_b - m^{(k)}) \quad (2.17)$$

$$A = \begin{bmatrix} W_d A \\ \sqrt{\lambda C} \\ \sqrt{\lambda \alpha W_m} \end{bmatrix}, \Delta d = \begin{bmatrix} W_d \Delta d \\ -\sqrt{\lambda C} m^{(k)} \\ \sqrt{\lambda \alpha W_m} (m_b - m^{(k)}) \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Persamaan 2.17 merupakan bentuk awal dari solusi least square. Persamaan 2.18 merupakan bentuk numerik dari persamaan normal, persamaan ini memerlukan iterasi. Iterasi akan berhenti bila nilai *misfit* telah sesuai. *Root Mean Square* (RMS) dari *misfit* ditentukan dengan Persamaan 2.19.

$$S = \sqrt{\Delta d^T W_d^T W_d \Delta d / N} \quad (2.19)$$

Dengan  $N$  menotasikan jumlah data.

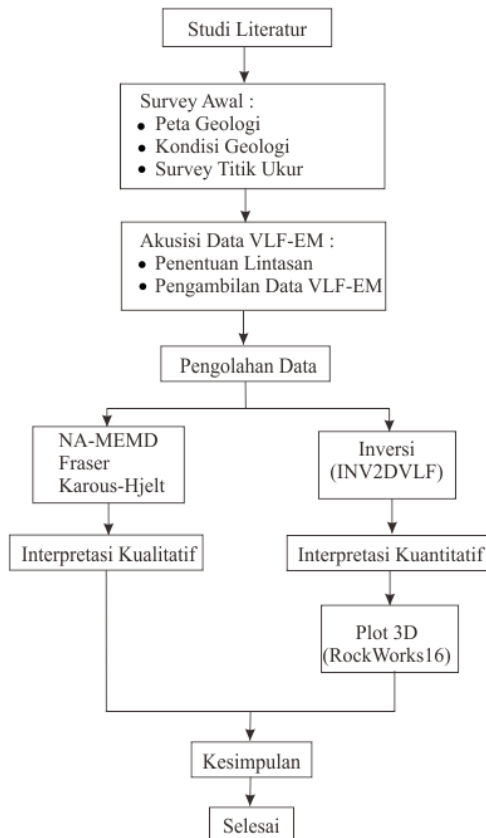
***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tahapan Penelitian**

Tahapan-tahapan pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.1. Gambar ini dapat dideskripsikan sebagaimana berikut :



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

### 3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal dalam melakukan penelitian. Pada tahap ini dilakukan dengan cara mencari literatur berupa jurnal internasional, tugas akhir maupun thesis yang berkaitan dengan tema penelitian ini. Tujuan dari studi literatur yaitu untuk memahami konsep dasar dari metode *Very Low Frequency-Electromagnetic* (VLF-EM), pengolahan data menggunakan Filter NA-MEMD, Fraser dan Karous Hjelt untuk mendapatkan interpretasi secara kualitatif, dan juga konsep dasar inversi untuk mendapatkan interpretasi secara kuantitatif.

### 3.1.2 Survey Awal

*Survey* awal pendahuluan dilakukan untuk mengetahui gambaran tentang keadaan geologi yang sebenarnya dan juga untuk mendapatkan gambaran lintasan yang akan dilakukan pengukuran. Longsor terletak di Desa Nglinggis, Kecamatan Tugu, Ponorogo, pada  $8^{\circ}00'53.15''\text{S}$  dan  $111^{\circ}34'15.58''\text{E}$ . Peta geologi pada daerah penelitian yang terlihat pada Gambar 2.1 menunjukkan adanya patahan geser di dekat pengambilan data penelitian. Daerah penelitian ini termasuk dalam Formasi Mandalika.



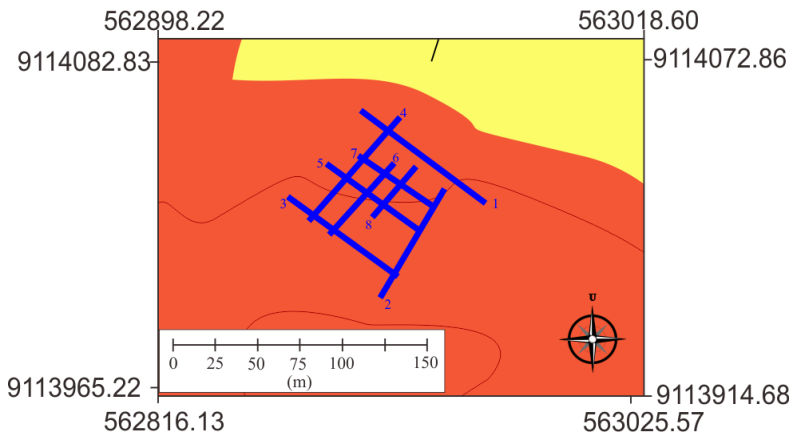
(a)



(b)

Gambar 3.2 Kondisi aktual pada (a) sebelah barat area pengukuran (b) sebelah utara area pengukuran (Jalan raya)

*Survey* pada lokasi longsor dapat dilihat pada Gambar 3.2. *Survey* dilakukan dengan membawa perlengkapan dokumentasi, kompas, dan GPS. Setelah diketahui geologi aktualnya, dilakukan penentuan lintasan pengukuran. Penentuan lintasan pengukuran dapat dilakukan dengan cara memotong titik-titik yang berpotensi longsor dan retakan yang terdapat pada daerah penelitian. Sehingga didapatkan 8 lintasan seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Lintasan pengukuran terdapat 8 line

### 3.1.3 Akusisi Data VLF-EM

Pada penelitian ini perlengkapan yang digunakan dalam melakukan akuisisi data seperti pada Gambar 3.4, terdiri dari satu set alat ukur VLF-EM, meteran, dan (*Global Positioning System*) GPS. Gambar 3.4 merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran :





(a)



(b)



(c)

Gambar 3.4 peralatan akuisisi data berupa (a) satu set VLF-EM *Envy Scintrex*, (b) GPS Garmin, (c) meteran

Pada saat pengukuran di lapangan, langkah pertama yang harus dilakukan adalah *scanning* stasiun VLF-EM, dengan syarat antena harus selalu menghadap ke arah Utara. Dalam pencarian stasiun, frekuensi yang diterima oleh alat *console* VLF-EM haruslah antara 15-25 kHz, setelah itu dicatat frekuensi 1 hingga frekuensi 3. Langkah kedua, dilakukan perekaman data VLF-EM. Data yang terekam pada alat VLF salah satunya berupa data *Inphase* dan *Quadrature*. Pada setiap titik pengukuran sebisa mungkin dilakukan pengulangan, agar nilai yang terbaca pada alat tidak jauh berbeda di setiap titik pengukuran. Apabila masih terdapat nilai yang *range*-nya terlalu jauh dari titik sebelumnya, kemungkinan terdapat anomali yang berada pada sekitar titik tersebut seperti adanya sungai, retakan, dan adanya instalasi listrik. Sehingga harus diberikan keterangan pengukuran pada titik tersebut.

### 3.1.4 Pengolahan

Proses Pengolahan data VLF-EM dibutuhkan beberapa perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisa dan memodelkan data observasi. Perangkat lunak yang digunakan yaitu : Ms.excel yang berfungsi untuk menganalisa data sebelum dilakukan filtering dan sebagai input saat akan dimasukkan ke dalam Matlab untuk dilakukan filter NA-MEMD, *Fraser* dan *Karous-Hjelt*. Hasil filter Fraser dan Karous-Hjelt tersebut dapat diinterpretasikan secara kualitatif. Setelah dilakukan interpretasi secara kualitatif, dilakukan *inverse modelling* dengan menggunakan perangkat lunak inv2DVLF yang bertujuan untuk memodelkan nilai resistivitas dua dimensi berdasarkan data *inphase* dan *quadrature* yang telah ter-filter menggunakan NA-MEMD. Pada hasil inversi yang telah dilakukan dapat diketahui letak anomali sebagai fungsi kedalaman sehingga dapat diinterpretasikan secara kuantitatif. Setelah didapatkan nilai kedalaman pertitik pada proses inversi, tahap selanjutnya yaitu memodelkan 3D nilai resistivitas tiap titik tersebut menggunakan perangkat lunak RockWorks16.

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## BAB IV

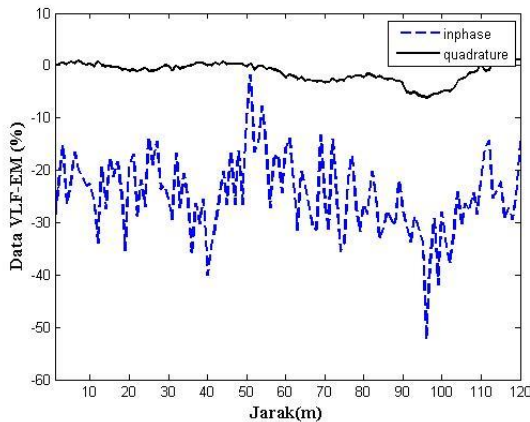
### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada pokok bahasan ini, akan dibahas mengenai analisa data VLF-EM secara kualitatif dan kuantitatif, serta pembahasan untuk setiap hasil yang telah didapatkan. Pembahasan ini dikaitkan dengan karakteristik tanah dan kestabilan lereng.

#### 4.1 Analisa Kualitatif

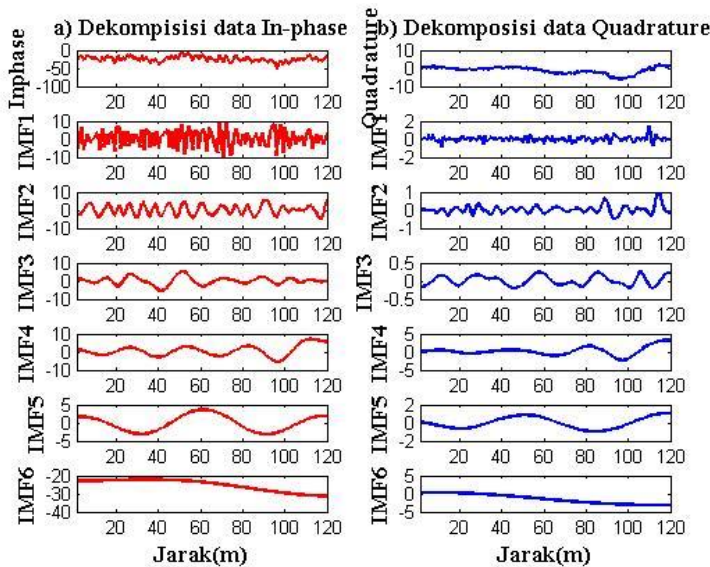
##### 4.1.1 Filter NA-MEMD

Filter *Noise-Assisted Multivariate Empirical Mode Decomposition* (NA-MEMD) dapat berfungsi untuk memisahkan suatu sinyal yang *kompleks* menjadi beberapa *mode*. Gambar 4.1 merupakan data yang didapat pada metode VLF berupa data real (*inphase*) dan imajiner (*quadrature*) yang bercampur dengan *noise*. Selain itu, data *inphase* tidak ada *zero-crossing* yang mengindikasikan posisi anomali. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh *noise* dengan amplitudo besar yang mengganggu data tersebut.



Gambar 4.1 Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* sebelum dilakukan *filtering* (Lintasan 3)

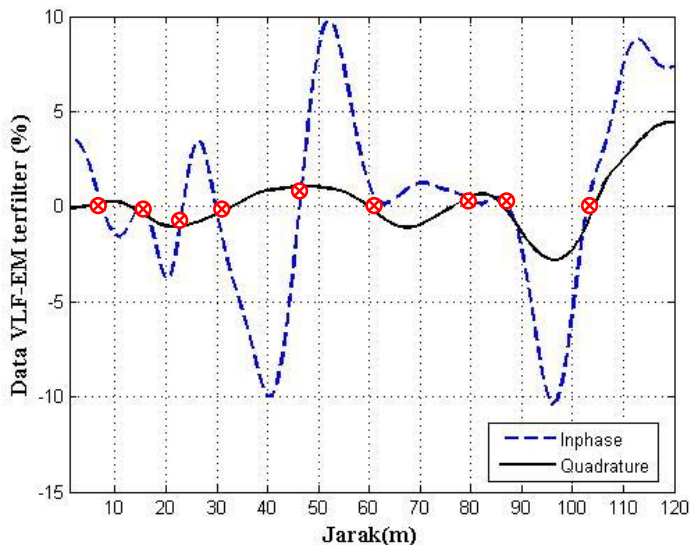
Gambar 4.1 merupakan grafik data *inphase* dan *quadrature* yang masih terlihat kasar akibat belum dilakukannya *filtering* menggunakan NA-MEMD. Metode ini dapat memisahkan data menjadi beberapa mode. Pemisahan ini biasa disebut dengan pemisahan IMF (*intrinsic mode function*). Penentuan dalam pemisahan IMF dilakukan dengan melihat dua kondisi seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Sehingga dari penentuan tersebut dapat dihasilkan sinyal yang telah terdekomposisi menurut pembagian IMF sebagaimana terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Dekomposisi antara data *inphase* dan *quadrature* (lintasan 3).

IMF1 pada Gambar 4.2 merupakan sinyal dengan bilangan gelombang tinggi dan terlihat acak. Sinyal dengan bilangan gelombang tinggi tidak digunakan karena mencerminkan *background noise*. Sedangkan IMF6 merupakan nilai residu yang mengindikasikan adanya tren pada sinyal yang diakibatkan oleh

efek drift. Maka pada pemilihan IMF, data terfilter dipilih dari diantara sinyal setelah IMF1 hingga sebelum IMF terakhir (residu). Dari penjumlahan IMF yang telah dipilih, didapatkan sinyal baru yang sudah terpisah oleh noise akibat efek drift dan *noise* dengan bilangan gelombang yang tinggi. Gambar 4.3 merupakan hasil *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan *filtering* NA-MEMD.

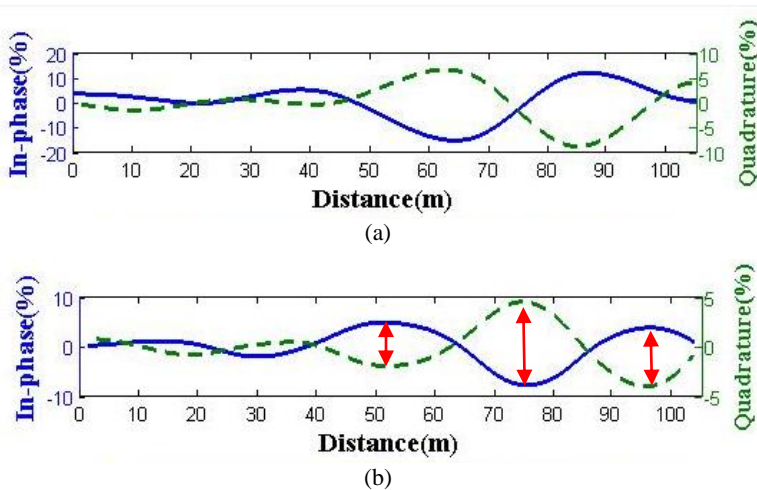


Gambar 4.3 Hasil *filtering* data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 3. Titik merah mengindikasikan posisi *zero-crossing* pada data.

Gambar 4.3 terlihat grafik yang didapatkan terlihat lebih *smooth*, jika dibandingkan dengan sebelum dilakukan proses *filtering*. Selain itu, posisi *zero-crossing* yang mengindikasikan posisi anomali lebih terlihat. Hal ini disebabkan oleh sudah dilakukan pemisahan sinyal untuk mereduksi bilangan gelombang tinggi dan nilai residu pada data.

#### 4.1.2 Filter Fraser dan Karous-Hjelt

Untuk menentukan letak anomali secara kualitatif digunakan filter Fraser dan Karous-Hjelt. Anomali konduktif diidentifikasi dari Fraser kurva *inphase* yang bernilai positif sedang dan kurva Fraser *quadrature* memiliki nilai negatif, sedangkan anomali resesif berlaku sebaliknya (Bahrie et.al., 2008). Hasil dari penentuan anomali dengan filter Fraser akan dibandingkan dengan filter Karous-Hjelt.

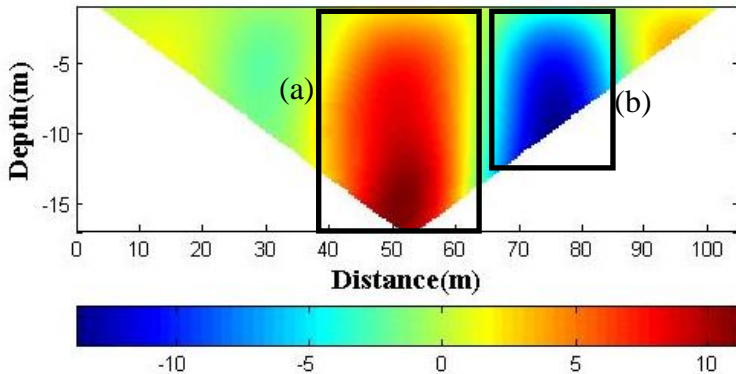


Gambar 4.4 nilai *Inphase* dan *quadrature* (a) sebelum dilakukan filter Fraser (b) setelah dilakukan filter Fraser pada lintasan 1. Panah merah mengindikasikan posisi anomali.

Posisi anomali konduktif pada lintasan 1 dari hasil filter Fraser pada Gambar 4.4 (b) diperkirakan berada pada jarak 40-60 meter, dan 90-100 meter.

Hasil Filter karous-Hjelt berupa peta kontur 2 dimensi dengan parameter rapat arus seperti pada Gambar 4.5. Anomali yang terlihat pada Gambar 4.5 terdapat 2 jenis anomali, yaitu anomali konduktif dan anomali resesif. Anomali konduktif terdapat pada jarak 40-60 meter, dan 90-100 meter. Hasil dari

Filter Karous-Hjelt pada Gambar 4.5 sesuai dengan hasil Filter Fraser pada Gambar 4.4.



Gambar 4.5 Peta kontur 2D rapat arus data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 1 (a) anomali konduktif (b) anomali resesif

Prinsip kerja dari Filter Karous-Hjelt yaitu menganggap lapisan horisontal kecil dengan beberapa kerapatan arus yang terletak pada kedalaman yang sama, dengan jarak antar titik. Jarak tersebut dipersempit berdasarkan lapisan-lapisan horizontal tersebut. Sehingga terlihat anomali dengan parameter rapat arus. Anomali yang konduktif memiliki nilai rapat arus yang tinggi seperti yang terlihat pada posisi 40-60 m. Sedangkan nilai rapat arus yang rendah (negatif) terlihat pada jarak 70-85 merupakan anomali resesif. Filter ini juga mampu mengidentifikasi anomali dalam fungsi kedalaman, meskipun kedalaman yang didapat masih berupa kedalaman semu.

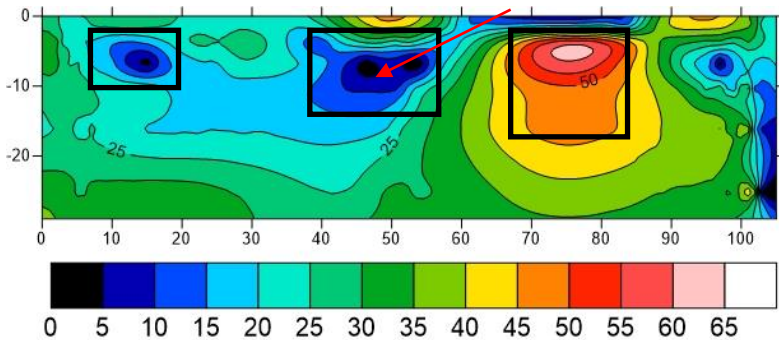
## 4.2 Analisa Kuantitatif

Dalam Analisa Kuantitatif, dilakukan melalui proses Inversi data *inphase* dan *quadrature* terfilter. Proses ini melibatkan teknik penyelesaian matematis untuk mendapatkan informasi penting dalam mengetahui distribusi sifat fisis bawah permukaan (Supriyanto, 2007). Analisa kuantitatif dilakukan dengan menggunakan software Inv2DVLF yang berbasis pada *Finite*



*Element Method* (Sungkono et al., 2014). Hasil yang didapat dari proses inversi berupa kontur 2 dimensi dengan parameter nilai resistivitas. Kedalaman yang didapat dari nilai resistivitas dan frekuensi berdasarkan persamaan skin depth, menghasilkan nilai kedalaman 29 meter.

- Lintasan 1



Gambar 4.6 Hasil inversi data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 1. Panah merah mengindikasikan arah aliran fluida.

Lintasan 1 terbentang dengan panjang 104 m dari arah timur ke barat, dengan spasi antar titik pengukuran yaitu 1 m. lintasan ini berada pada bahu jalan raya Ponorogo-Trenggalek yang mana jalan tersebut pernah terjadi longsor. Gambar 4.6 mengidentifikasi adanya 3 anomali dengan informasi nilai resistivitas, kedalaman, dan posisi horisontal. Anomali tersebut ditunjukkan oleh persegi warna hitam.

Anomali pertama merupakan anomali konduktif berada pada jarak 10-20 m dari titik pengukuran dengan nilai resistivitas  $\pm 5 \Omega\text{m}$  pada kedalaman 0-5 m. Anomali kedua berada pada jarak 45-48 m dari titik pengukuran dengan kedalaman 13-15 meter. Anomali ini juga memiliki nilai resistivitas yang sama dengan anomali pertama yaitu  $5 \Omega\text{m}$ . Anomali pertama dan kedua merupakan penyebab terjadinya longsor. Panah merah pada Gambar 4.6 mengindikasikan adanya retakan yang menyebabkan

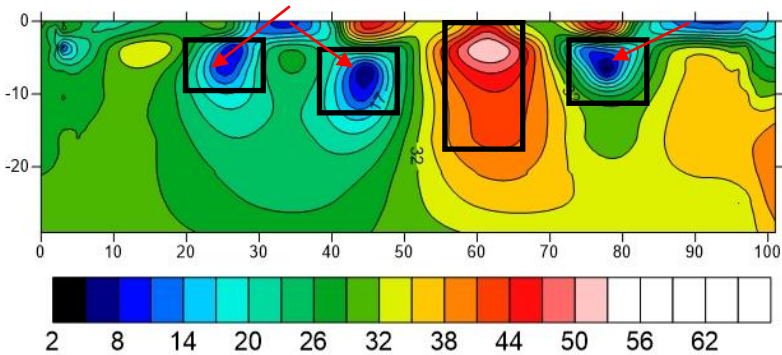
fluida (air) masuk kedalam tanah, sehingga menyebabkan nilai resistivitas pada daerah ini sangat rendah. Hal ini sesuai dengan keterangan lapangan pada bekas jalan yang telah longsor dan telah diperbaiki.



Gambar 4.7 Kondisi Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek akibat longsor.

Anomali ketiga merupakan anomali resesif dengan nilai resistivitas  $60 \Omega\text{m}$ . berada pada jarak 65-90 m dari titik awal pengukuran dengan kedalaman 5-25 meter. Karena pada lintasan 1 ini merupakan jalan raya, kemungkinan anomali ini merupakan pondasi bawah jalan raya sehingga memiliki densitas tinggi (resistivitas tinggi) seperti terlihat pada Gambar 4.7.

- Lintasan 2



Gambar 4.8 Hasil inversi data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 2. Panah merah mengindikasikan arah aliran fluida.

Lintasan 2 memiliki panjang lintasan 100 m. Lintasan ini berada pada sisi timur area pengukuran dan terbentang dari arah utara ke selatan. Gambar 4.8 merupakan hasil inversi pada lintasan 2 dan mengidentifikasi adanya 4 anomali. Anomali pertama dan kedua merupakan anomali konduktif dengan nilai resistivitas keduanya  $\pm 8 \Omega\text{m}$ . Anomali pertama berada pada jarak 20-30 m dari titik awal pengukuran dengan kedalaman 0-5 m. Anomali kedua berada pada jarak 40-50 m dengan kedalaman 5-12 meter. Titik diantara anomali pertama dan kedua terdapat bekas rekahan, dan juga terdapat bekas longsor seperti pada Gambar 4.9.

Anomali ketiga berada pada meter ke 55-70 m dengan kedalaman 5 m, anomali ini merupakan anomali resesif dengan nilai resistivitas  $\pm 50 \Omega\text{m}$ . Pada kondisi di lapangan, titik ini tidak menunjukkan adanya bekas longsor maupun adanya rekahan. Namun pada meter ke 90 – 100 m, tergambar mempunyai nilai resistivitas yang sama dengan anomali ketiga. Hal ini mengindikasikan bahwa pada titik ini bukanlah anomali, melainkan sambungan dari meter ke 90-100 yang terpisah akibat adanya rekahan pada titik anomali keempat berada, seperti yang ditunjukkan oleh panah merah pada Gambar 4.8.

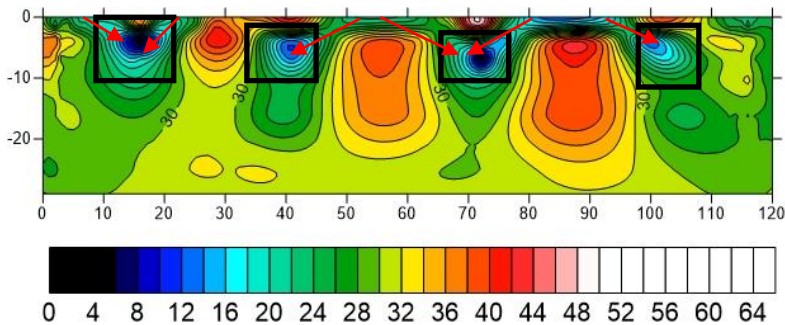


Gambar 4.9 Kondisi bekas longsor pada lintasan 2

Anomali keempat merupakan anomali konduktif dengan nilai resistivitas  $\pm 10 \Omega\text{m}$ . Pada bagian atas pada anomali keempat, memiliki nilai resistivitasnya sangat tinggi, hal ini diakibatkan karena adanya bekas rekahan yang memungkinkan adanya porositas yang besar, sehingga fluida masuk ke dalam, seperti yang terlihat pada kedalaman 5-8 m. Hal inilah yang menyebabkan potensi terjadinya longsor.

- Lintasan 3

Lintasan 3 berada pada sisi bagian selatan dengan panjang lintasan 119 m, terbentang dari arah barat ke timur. lintasan ini terdapat 2 sumber air yang mengalir pada permukaan dari sisi bagian selatan menuju ke rumah penduduk dibagian utara. Sehingga terlihat banyak rembesan yang masuk sehingga menghasilkan 4 anomali seperti yang terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil inversi data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 3. Panah merah mengindikasikan arah aliran fluida.

Anomali pertama memiliki nilai resistivitas  $\pm 10 \Omega\text{m}$ , berada pada jarak 10-20 m dari titik awal pengukuran dengan kedalaman 2-5 m. Gambar 4.10 mengindikasikan bahwa anomali ini merupakan akibat rembesan dari permukaan yang mengisi bagian dalam. Sehingga hal ini bisa menjadi potensi terjadinya longsor.

Anomali kedua berada pada meter ke 40 m, dengan nilai resistivitas  $14 \Omega\text{m}$  pada kedalaman 5 meter. Anomali ketiga berada pada meter ke 70 m dengan nilai resistivitas  $\pm 6 \Omega\text{m}$  pada kedalaman 5 meter. Kedua anomali ini merupakan akibat dari rembesan yang mengalir akibat retakan diantara anomali kedua dan ketiga.

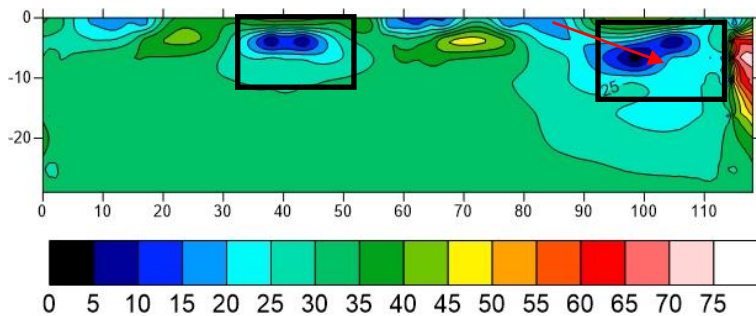
Aliran air (panah merah) pada titik 87 m, juga mengakibatkan adanya anomali ketiga dan keempat. Anomali keempat memiliki nilai resistivitas  $14 \Omega\text{m}$ , berada pada jarak 100 m dari titik awal pengukuran, dan berada pada kedalaman 5 m. Anomali ketiga memiliki nilai resistivitas yang sangat kecil dibandingkan dengan anomali ke empat dan kedua, hal ini diduga disebabkan oleh adanya anomali ketiga menerima rembesan dari 2 aliran air pada permukaan. Nilai resistivitas yang kecil ini terbukti dapat mengakibatkan longsor yang terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Kondisi longsor pada lintasan 3

- Lintasan 4

Lintasan 4 berada pada sisi bagian barat dengan panjang lintasan 115 m. lintasan ini berupa jalan setapak yang terdapat retakan pada bagian tengah jalan. Lintasan ini memotong retakan tersebut sehingga didapatkan 2 anomali konduktif yang ditunjukkan oleh persegi warna hitam (Gambar 4.12).



Gambar 4.12 Hasil inversi data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 4. Panah merah mengindikasikan arah aliran fluida.



Anomali pertama memiliki nilai resistivitas  $10 \Omega\text{m}$ , berada pada jarak 30-50 m dari titik awal pengukuran pada kedalaman 0-5 m. Letak anomali ini sesuai dengan rekahan yang terlihat pada Gambar 4.13.

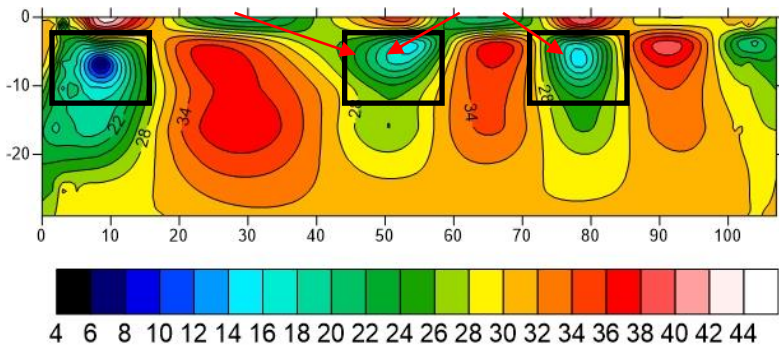


Gambar 4.13 Kondisi patahan jalan setapak pada lintasan 4

Anomali kedua berada pada meter ke 90-110 m. Panah merah pada Gambar 4.12 mengindikasikan aliran fluida (air). Hal ini disebabkan oleh ujung dari lintasan ini terdapat saluran air yang mengalir dari arah selatan ke utara. Sehingga anomali ini memiliki nilai resistivitas  $\pm 5 \Omega\text{m}$ , dengan kedalaman 5-10 meter.

- Lintasan 5

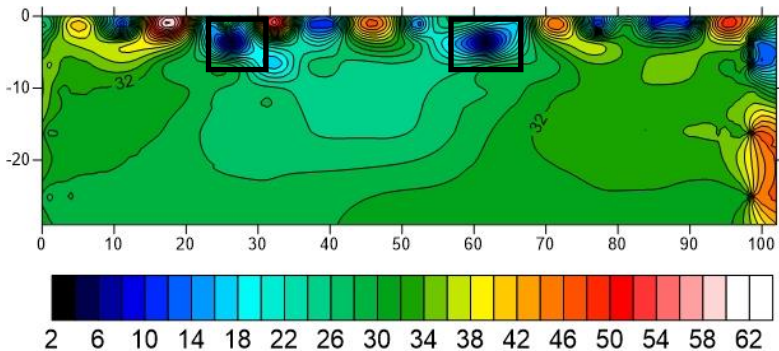
Lintasan 5 memiliki panjang lintasan 106 m yang terbentang dari arah timur ke barat dan berada diantara lintasan 3 dan 7. Hasil inversi pada lintasan ini sebagaimana Gambar 4.14. Anomali pertama pada jarak 5-40 m dari titik awal pengukuran merupakan anomali yang sama pada lintasan 2 pada meter 45. Bekas longsor ini memiliki nilai resistivitas  $8 \Omega\text{m}$ . Anomali ini berada pada kedalaman 5-10 m.



Gambar 4.14 Hasil inversi data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 5. Panah merah mengindikasikan arah aliran fluida.

Anomali kedua dan ketiga merupakan akibat dari aliran air (panah merah) pada permukaan yang merembes kedalam tanah akibat retakan seperti halnya lintasan 3. Letak anomali ini berada pada meter ke 45-55 m dan meter ke 75-85 m dengan kedalaman masing-masing 5 meter. Kedua anomali ini mempunyai nilai resistivitas  $\pm 16 \Omega\text{m}$ .

- Lintasan 6



Gambar 4.15 Hasil inversi data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 6.



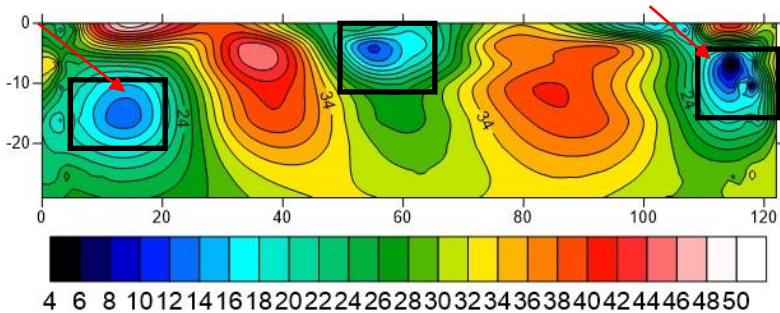
Lintasan 6 berada pada sebelah timur lintasan 4. Lintasan ini memiliki panjang 100 m yang terbentang dari selatan ke utara. Lintasan ini banyak memotong pematang kebun, sehingga banyak anomali yang bersifat resesif. Gambar 4.15 menggambarkan 2 anomali konduktif yang mengindikasikan titik tersebut merupakan daerah dengan potensi longsor. Anomali tersebut tunjukan oleh persegi warna hitam.

Anomali pertama memiliki nilai resistivitas  $\pm 8 \Omega\text{m}$ , berada pada jarak 20-30 m dari titik awal pengukuran pada kedalaman 5 m. Anomali kedua berada pada meter ke 55-65 m dengan kedalaman  $\pm 5$  m. Anomali ini juga merupakan anomali konduktif dengan nilai resistivitas  $\pm 8 \Omega\text{m}$ .

- Lintasan 7

Lintasan 7 memiliki panjang lintasan 121 m, yang membentang dari arah timur ke barat. Lintasan ini melewati 3 rumah dengan hasil inversi sebagaimana pada Gambar 4.17. Gambar ini mengidentifikasi adanya anomali dengan nilai resistivitas tinggi sekitar 40-44  $\Omega\text{m}$  pada 3 titik diatas. Anomali ini berkorelasi dengan posisi rumah penduduk.

Anomali konduktif yang merupakan persebaran fluida ditunjukan oleh persegi warna hitam. Anomali pertama memiliki nilai resistivitas 18  $\Omega\text{m}$ , berada pada jarak antara 10-25 m dari titik awal pengukuran. Letak anomali ini berada persis di bawah rumah yang terdapat retakan pada halaman rumah, dan juga beberapa retakan pada bagian dalam rumah. Sehingga memungkinkan anomali ini merupakan retakan yang telah terisi fluida, seperti keterangan panah merah pada Gambar 4.17. Anomali pertama terlihat tidak seperti anomali pada lintasan lain yang rata-rata letak kedalaman sekitar  $\pm 5$  m. Hal ini kemungkinan anomali dengan kedalaman 10-20 m merupakan pembuangan saluran air pada rumah tersebut.



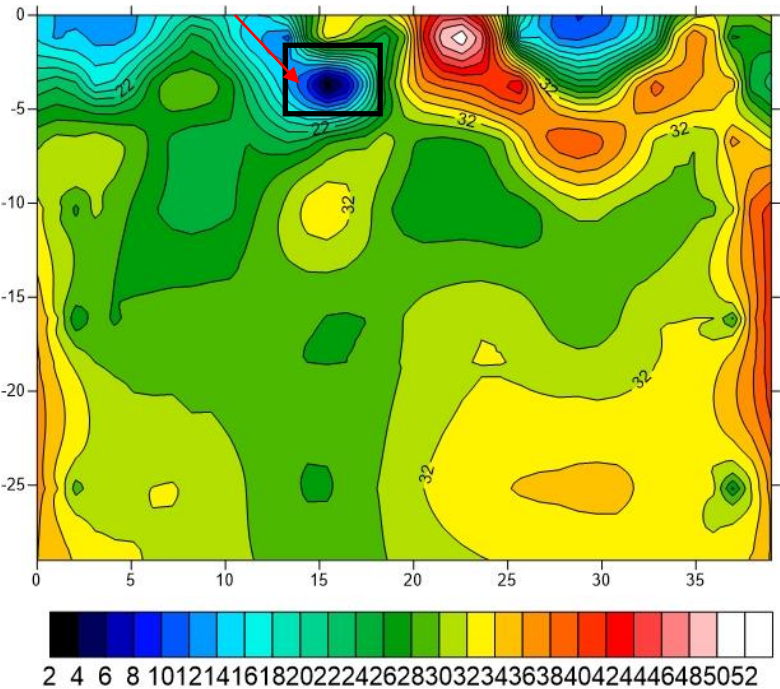
Gambar 4.16 Hasil inversi data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 7. Panah merah mengindikasikan arah aliran fluida.

Anomali kedua berada pada jarak 50-60 m dari titik awal pengukuran dengan kedalaman 5-10 meter yang memiliki nilai resistivitas 12  $\Omega\text{m}$ . Anomali ini sangat dekat dengan permukaan. Hal ini disebabkan karena pada titik ini terdapat sumber aliran air yang mengalir ke arah rumah. Anomali ketiga berada pada jarak 110-120 m dengan kedalaman 10-15 meter. Letak anomali ini berada pada bawah jalan setapak. Pada sebelah kanan dan kiri jalan terdapat selokan yang berisi air, anomali ketiga ini memiliki nilai resistivitas sekitar  $\pm 8 \Omega\text{m}$ .

- Lintasan 8

Lintasan 8 membentang dari arah selatan ke utara, dengan panjang lintasan 38.5 m dan spasi antar titik yaitu 0.5 m. lintasan ini memotong lintasan 7 dan melewati retakan. Hasil inversi data VLF-EM pada lintasan ini sebagaimana Gambar 4.17. Sehingga terlihat anomali seperti yang ditunjukkan oleh persegi warna hitam pada jarak 15-18 m dari titik awal pengukuran dengan nilai resistivitas 10  $\Omega\text{m}$ . Panah merah pada Gambar 4.17

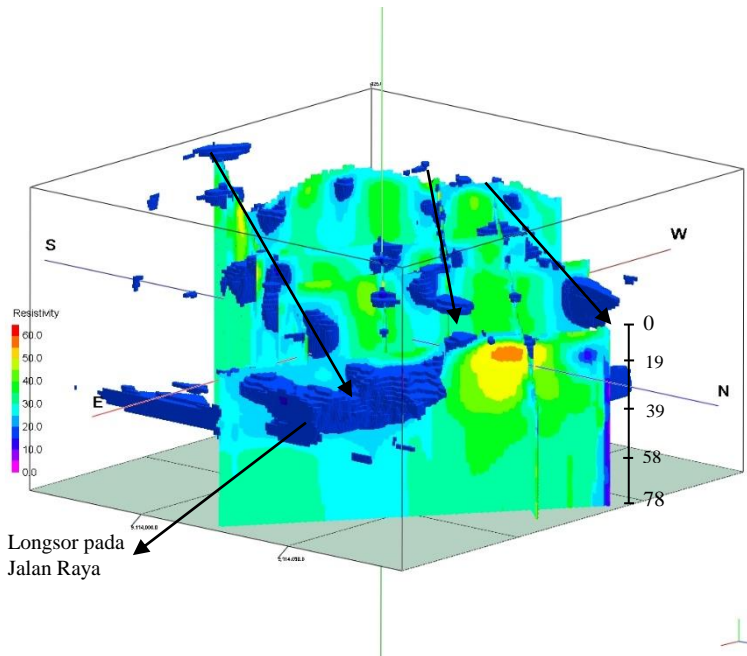
mengindikasikan adanya retakan yang memungkinkan telah terisi oleh fluida (air) hingga kedalaman  $\pm 5$  m.



Gambar 4.17 Hasil inversi data *Inphase* dan *Quadrature* pada lintasan 5

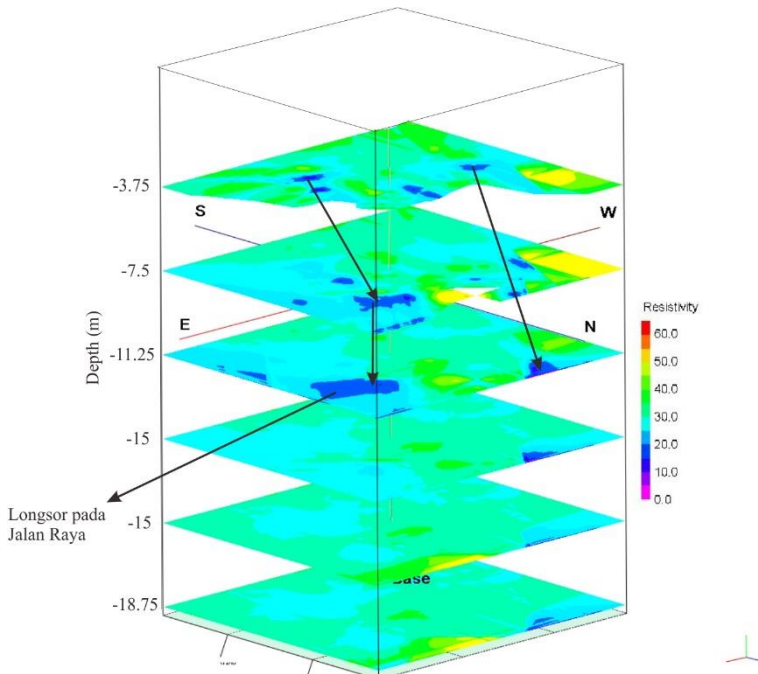
### 4.3 Model 3 Dimensi

Hasil yang telah didapatkan pada proses inversi dimodelkan 3D menggunakan RockWorks16 dengan memasukkan nilai latitude, longitude, elevasi, dan nilai resistivitas tiap kedalaman. Hasilnya berupa model 3D seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Hasil plot 3D persebaran fluida.

Nilai resistivitas rendah pada Gambar 4.18 menggambarkan persebaran tanah yang telah tersaturasi dengan fluida, akibat adanya retakan pada daerah penelitian. Fluida yang terdapat pada lokasi penelitian diduga sebagai akibat dari aliran sumber air yang letaknya berada pada bagian atas barat daya dari lokasi penelitian, seperti yang ditunjukkan pada panah berwarna hitam.



Gambar 4.19 Hasil model 3D dengan sayatan horisontal tiap kedalaman.

Gambar 4.19 menunjukkan model resistivitas 3D dengan sayatan horisontal tiap kedalaman 3.75 m dari permukaan. Panah warna hitam pada Gambar 4.19 kemungkinan arah aliran fluida (air) yang masuk kedalam tanah dan terjadi saturasi air pada batuan. akibatnya tingkat kejenuhan air pada posisi ini sangat besar. Hal ini didukung oleh adanya anomali konduktif dengan nilai resistivitas  $\pm 8 \Omega\text{m}$  pada kedalaman  $\pm 5\text{m}$  dari permukaan. Dengan demikian dapat diketahui bahwa daerah penelitian ini merupakan daerah rawan longsor.

Persebaran aliran fluida akibat dari retakan yang menyebabkan longsor pada daerah penelitian ini, dapat diidentifikasi dengan baik menggunakan metode VLF-EM. Untuk melakukan validasi atas dugaan anomali yang diduga sebagai aliran fluida, maka diperlukan komparasi dengan metode geofisika lain. Data penunjang lainnya seperti nilai resistivitas sample batuan, juga mampu memperkuat hasil dari penelitian ini.

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Daerah yang potensi terjadi tanah longsor pada Jalan Raya Ponorogo-Trenggalek KM 23 diidentifikasi oleh nilai resistivitas  $\pm 8 \Omega\text{m}$  berada pada kedalaman 5-10 m.
2. Hasil yang didapat pada proses inversi berupa anomali resistivitas rendah yang berkorelasi dengan posisi retakan tersaturasi fluida.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan oleh penulis untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan data penunjang berupa nilai resistivitas pada sample batuan pada daerah penelitian.
2. Perlunya dilakukan komparasi dengan metode geofisika lain atas dugaan persebaran fluida akibat retakan penyebab potensi longsor.



***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R.W.V., 1949. The Geology of Indonesia Vol. 1A.
- Djuri, M., Samodra, H., Amin, T.C., dan Gafoer, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Trenggalek, skala 1:100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Fikri, R., 2017. Rekonstruksi Bawah Permukaan Candi Belahan Menggunakan Metode Very Low Frekuensi (VLF-EM). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Ghufron, 2010. Estimasi Penyebaran Deposit Fosfat di Wilayah Perum Perhutani KPH Pati BKPH Sukolilo Pati dengan Metode Very Low Frequency Elektromagnetik Vertikal Gradient (VLF-EM-VGRAD). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Fisika FMIPA.
- Grandis, H., 2009. Pengantar pemodelan inversi geofisika. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).
- Hunsucker, R.D., 2009. The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation.
- Indriyani, D.D., 2014. Pemetaan Distribusi Aliran Sungai Bawah Tanah. Universitas Negeri Semarang, Jurusan Fisika FMIPA.
- Jeng, Y., Lin, M.-J., Chen, C.-S., Wang, Y.-H., 2007. Noise reduction and data recovery for a VLF-EM survey using a nonlinear decomposition method.
- Kaikkonen, P., 1979. Numerical VLF Modelling, Geophysical Prospecting.

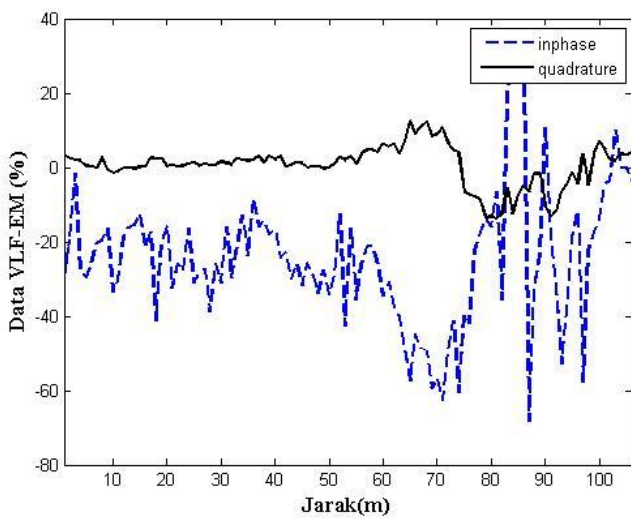
- Rehman, N.U., Park, C., Huang, N. E. and Mandic, D. P.  
2013. EMD Via MEMD: Multivariate Noise-Aided computation of standart EMD.
- Rilling, G., Flandrin, P., Goncalves, P. and Lilly, J. M.  
2007. Bivariate empirical mode decomposition.
- Sasaki, Y., 2001. Full 3-D inversion of electromagnetic data on PC. *J. Appl. Geophys* 46, 45–54.
- Sassa, K., Tsuchiya, S., Fukuoka, H., Mikos, M., Doan, L.,  
2015. Landslides: review of achievements in the second 5-year period (2009–2013). *Landslides* 12, 213–223. doi:10.1007/s10346-015-0567-4
- Sharma, S.P., Biswas, A., Baranwal, V.C., 2014. Very Low-Frequency Electromagnetic Method: A Shallow Subsurface Invertigation Technique for Geophysical Applications.
- Shi, J.S., Wu, L.Z., Wu, S.R., Li, B., Wang, T., Xin, P.,  
2016. Analysis of the causes of large-scale loess landslides in Baoji, China. *Geomorphology* 264, 109–117. doi:10.1016/j.geomorph.2016.04.013
- Sungkono, Bahri Ayi, Warnana Dwa, Monteiro, S., Santosa, B.J., 2014. Fast, simultaneous and robust VLF-EM data denoising and reconstruction via multivariate empirical mode decomposition, *Computers & Geoscience* 67, 125–138.
- Supriyanto, 2007. Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi.
- Watts, R.D., 1978. Electromagnetic Scattering from Buried Wires 43, 767–781.
- Wijaya, O., 2014. Identifikasi Patahan Bawah Permukaan untuk Evaluasi Mud Vulcano di Gunung Anyar Tengah – Surabaya dengan Metode Very Low Frequency – Electromagnetic (VLF-EM). Institut

Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Fisika FMIPA ITS.

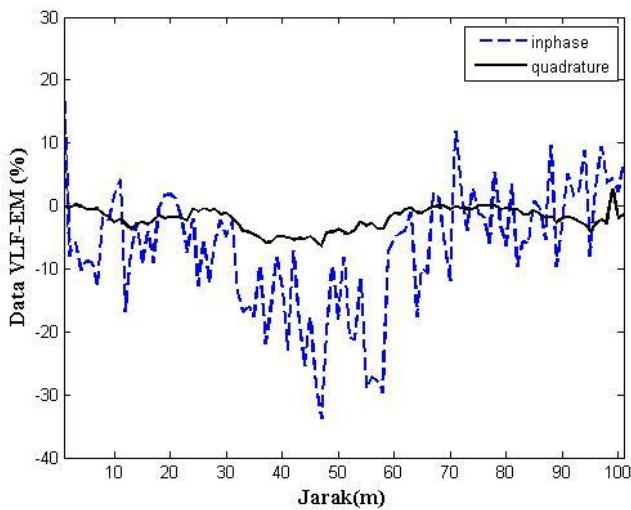
Wijayanti, N., 2017. Pemetaan Aliran Sungai Bawah Tanah di Daerah Rengel-Tuban dengan Menggunakan Metode Very Low Frequency- Electromagnetic (VLF-EM). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Fisika FMIPA ITS.

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

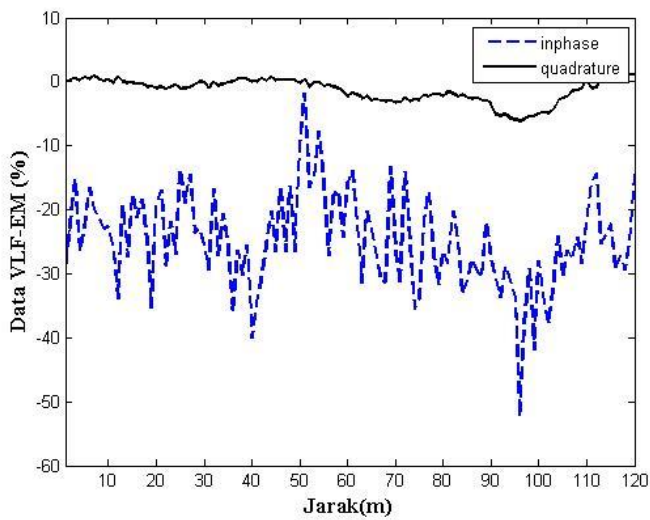
Lampiran 1



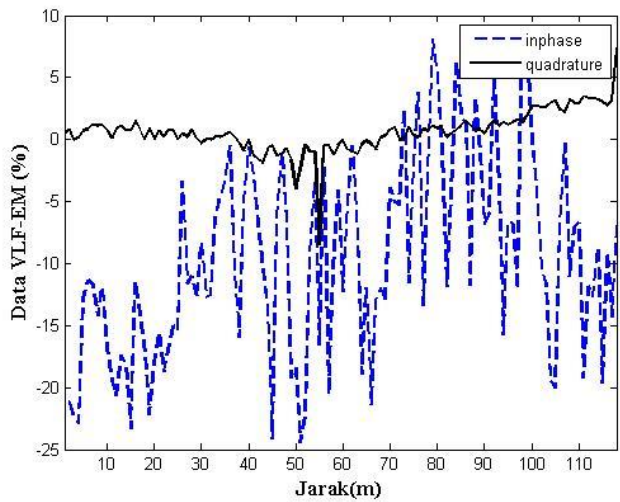
Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 1



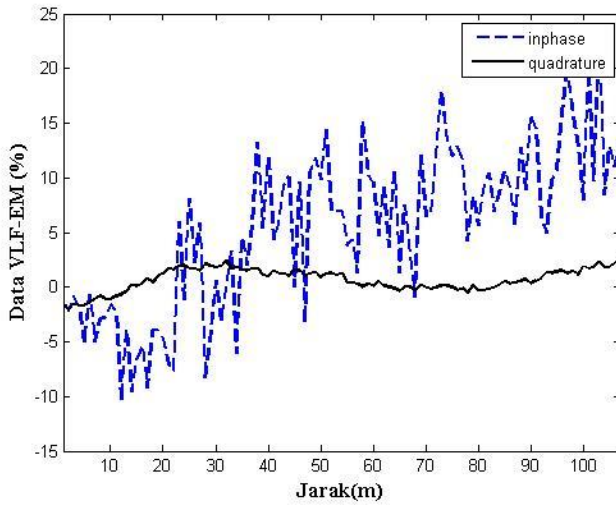
Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 2



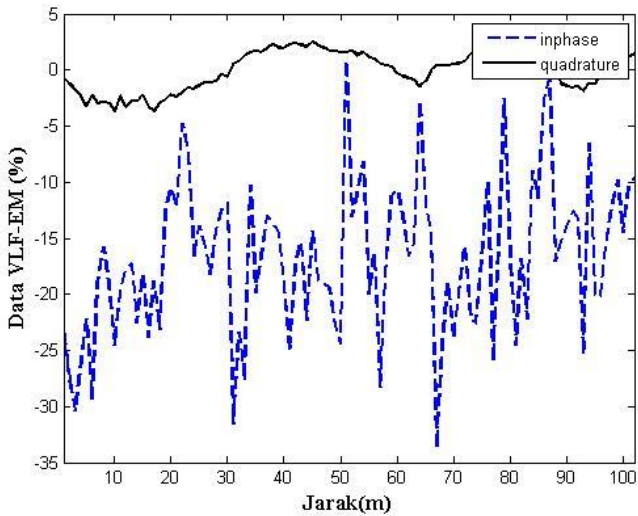
Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 3



Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 4

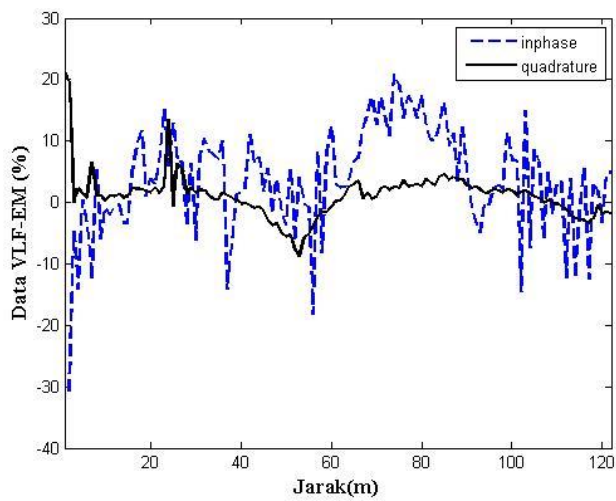


Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 5

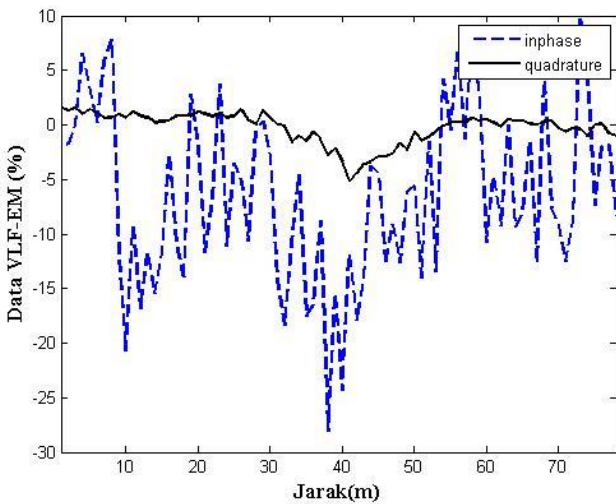


Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 6



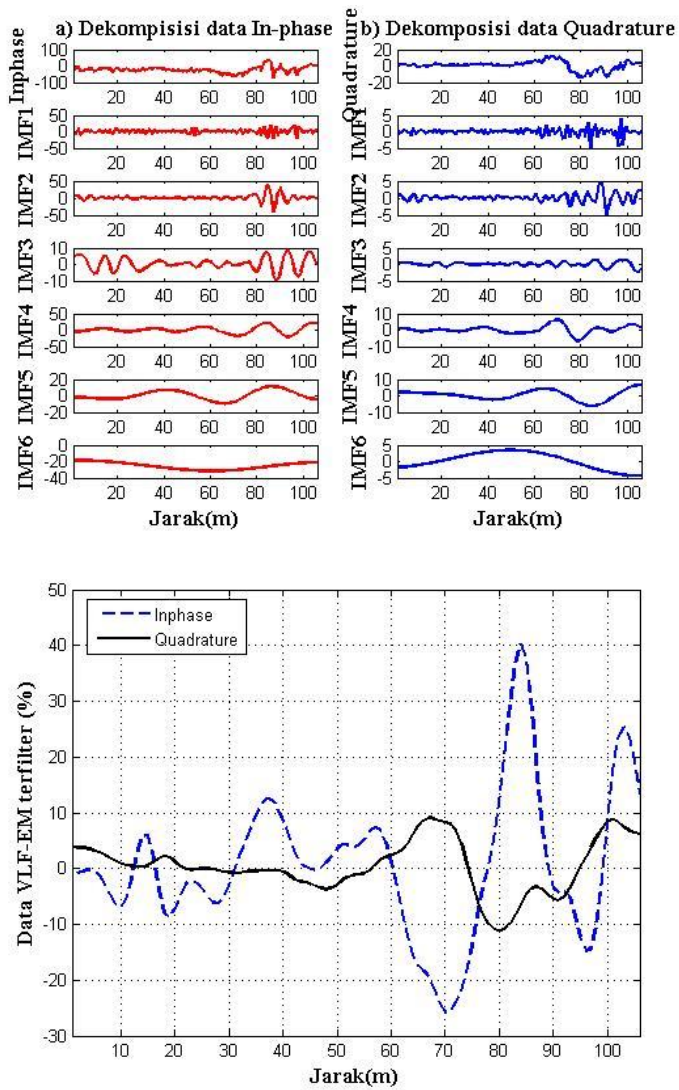


Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 7

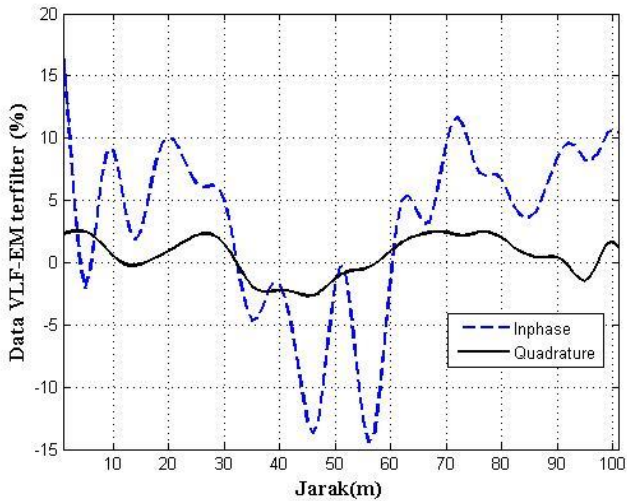
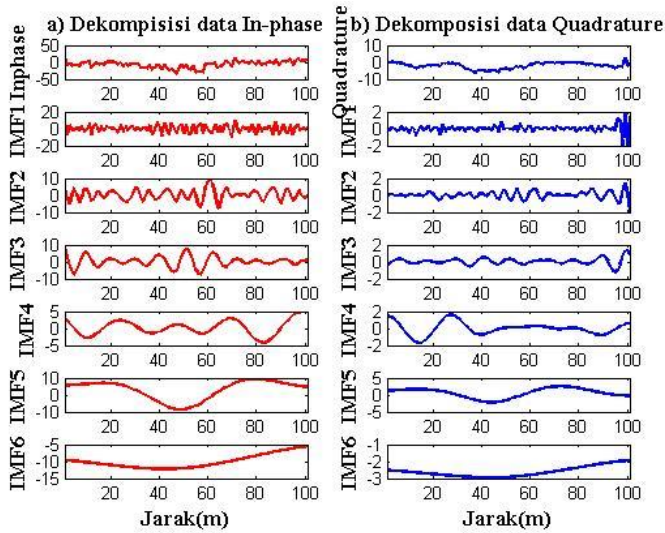


Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* pada lintasan 8

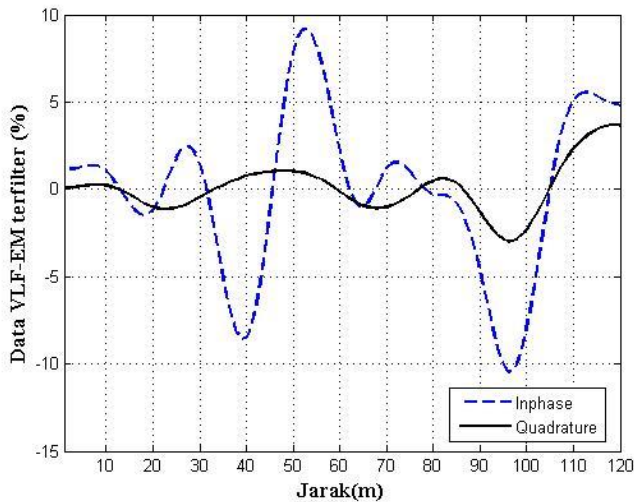
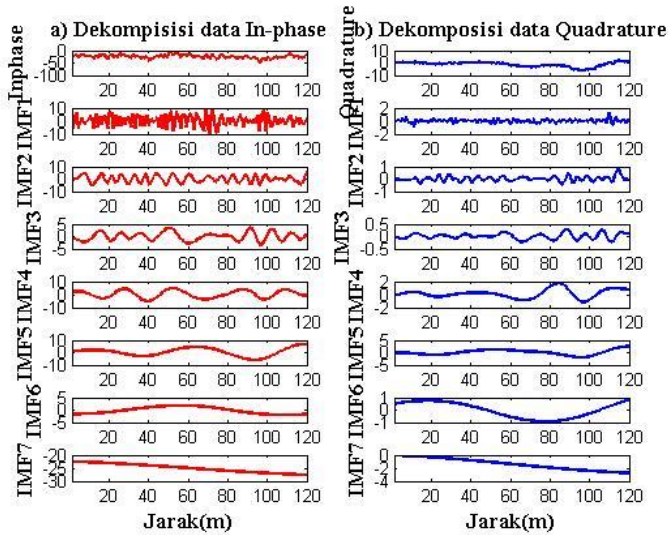
## Lampiran 2



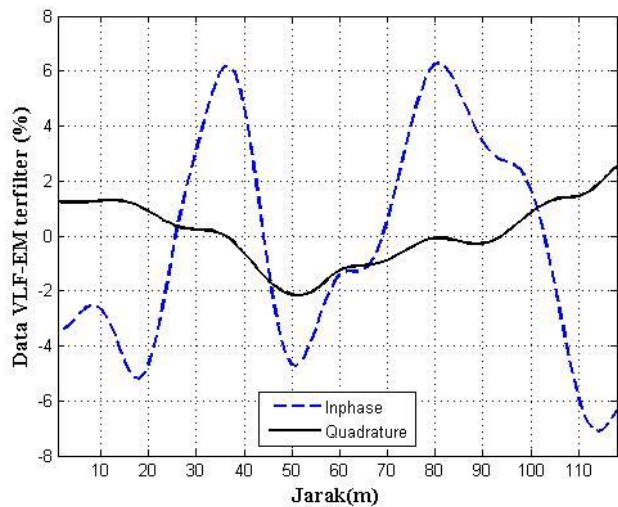
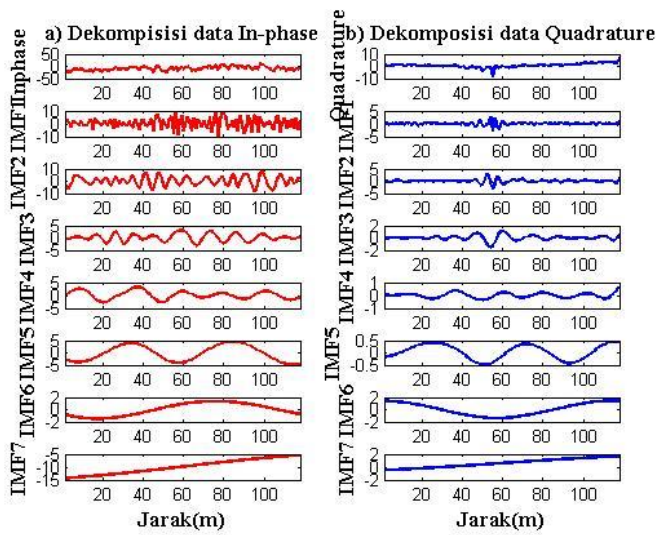
Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan filter NA-MEMD pada lintasan 1



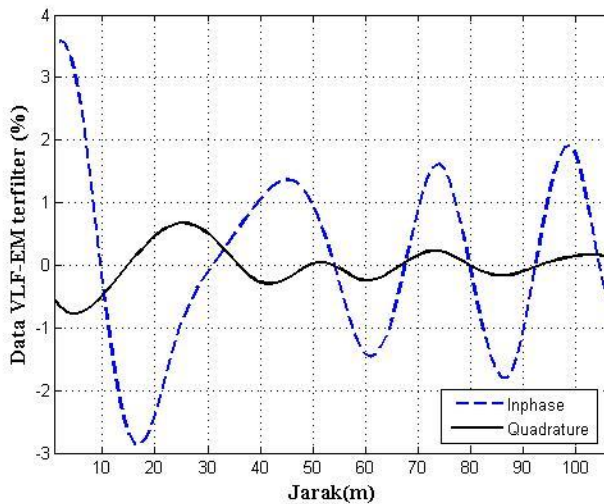
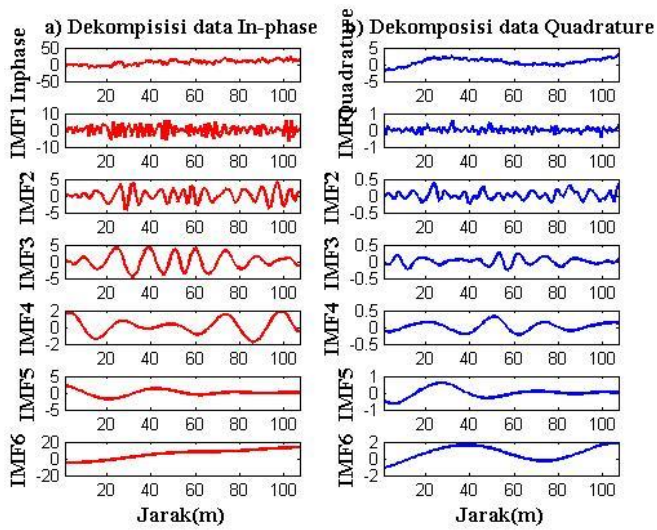
Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan filter NA-MEMD pada lintasan 2



Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan filter NA-MEMD pada lintasan 3

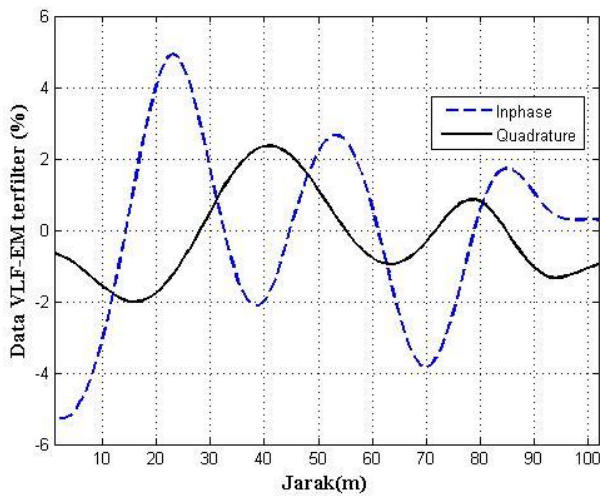
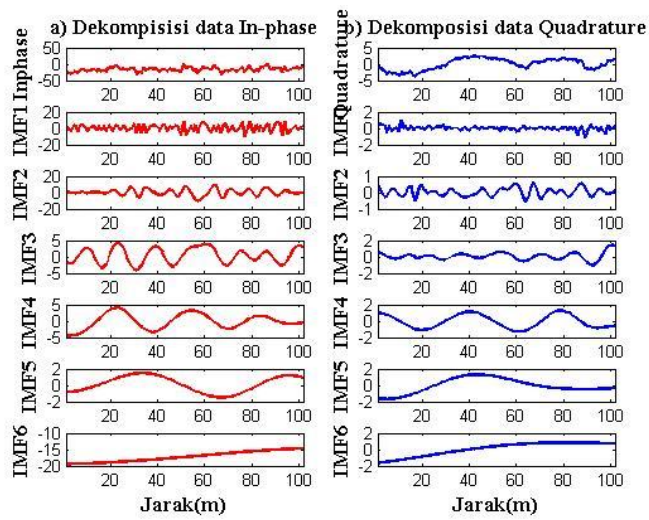


Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan filter NA-MEMD pada lintasan 4

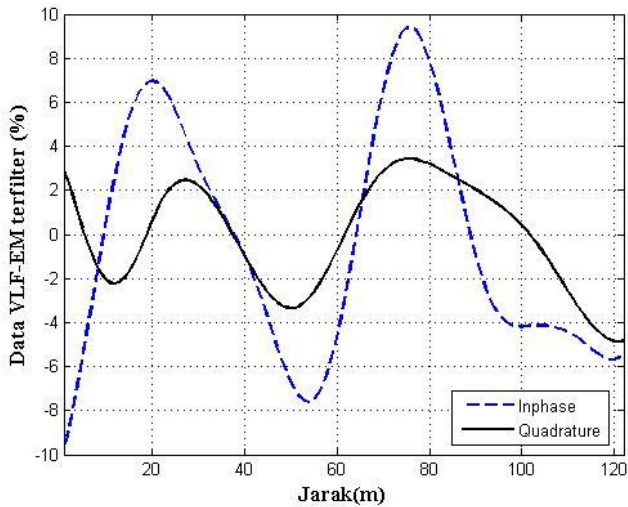
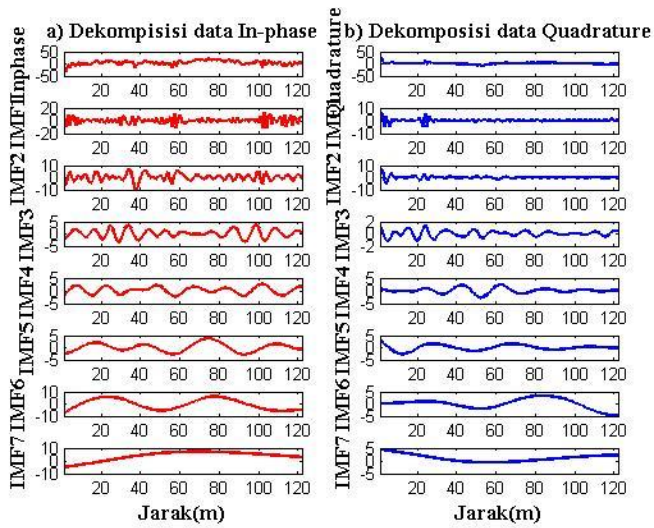


Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan filter NA-MEMD pada lintasan 5



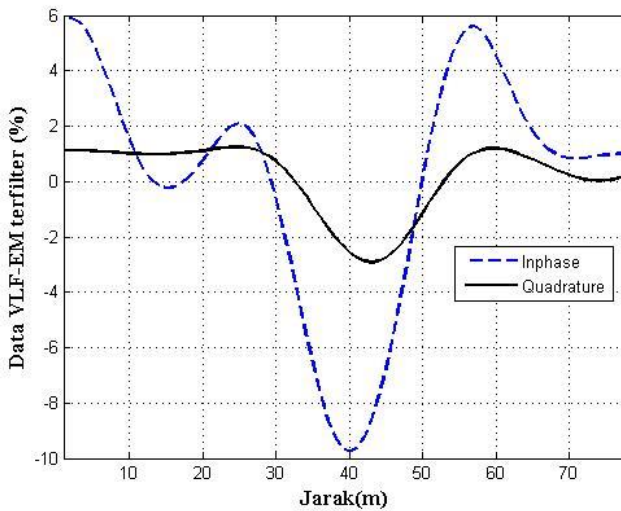
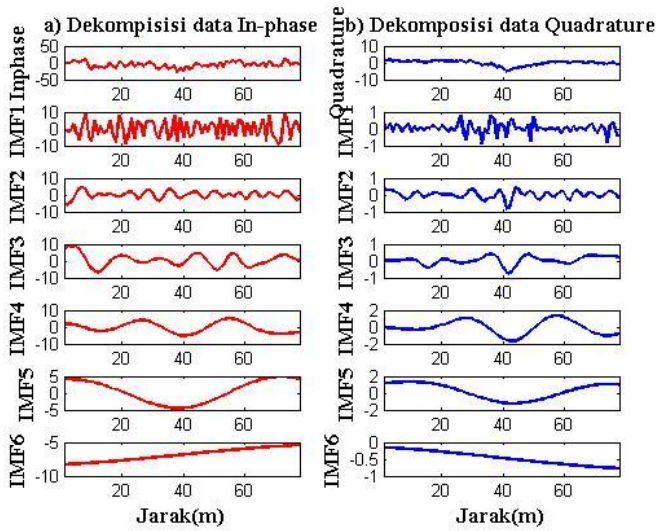


Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan filter NA-MEMD pada lintasan 6



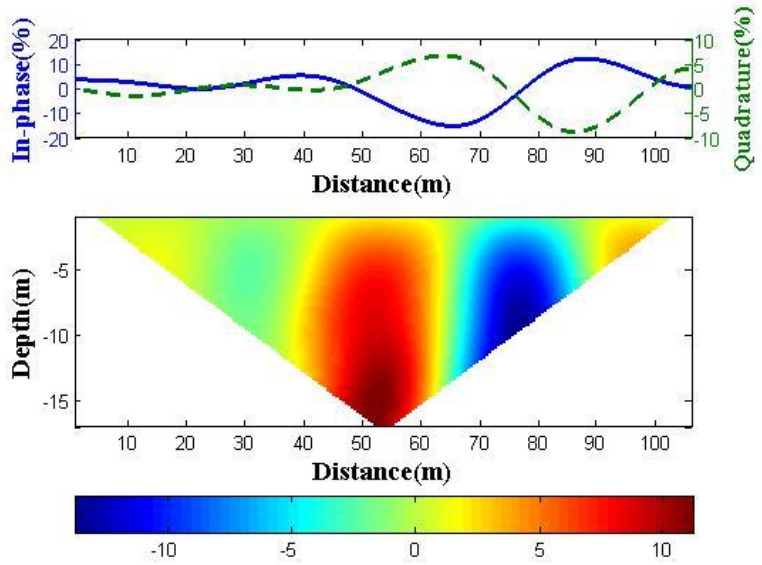
Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan filter NA-MEMD pada lintasan 7



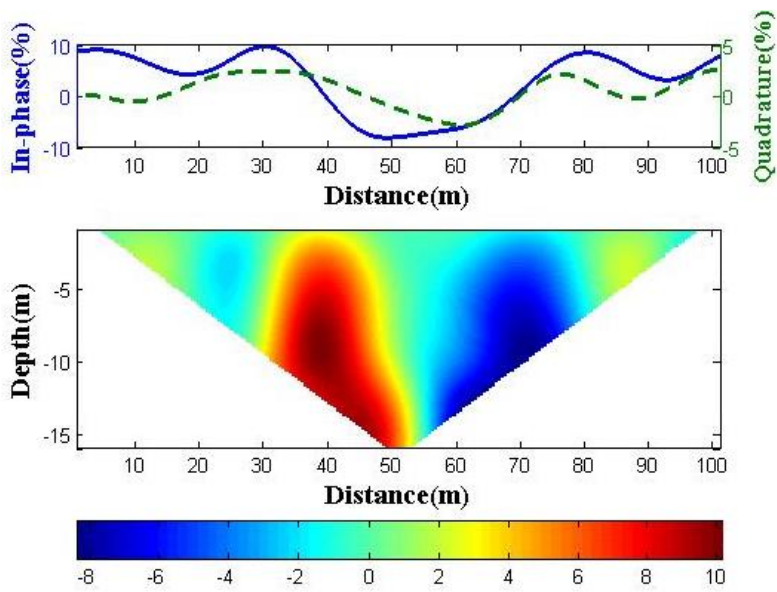


Korelasi antara data *inphase* dan *quadrature* setelah dilakukan filter NA-MEMD pada lintasan 8

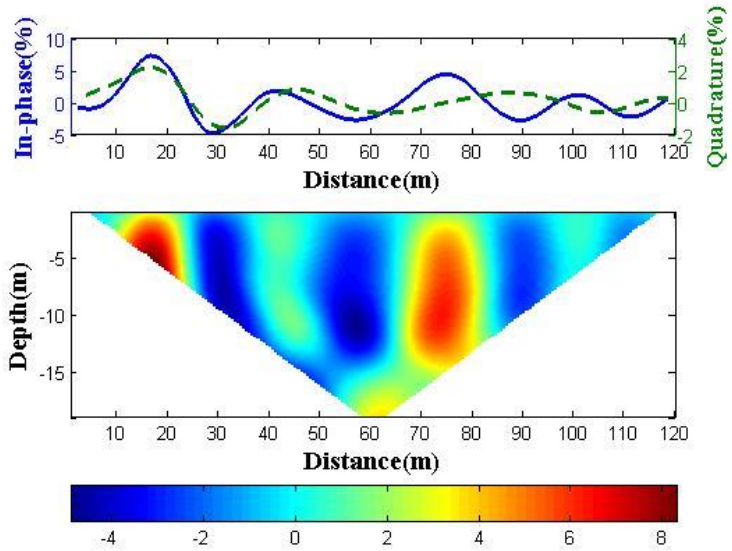
Lampiran 3



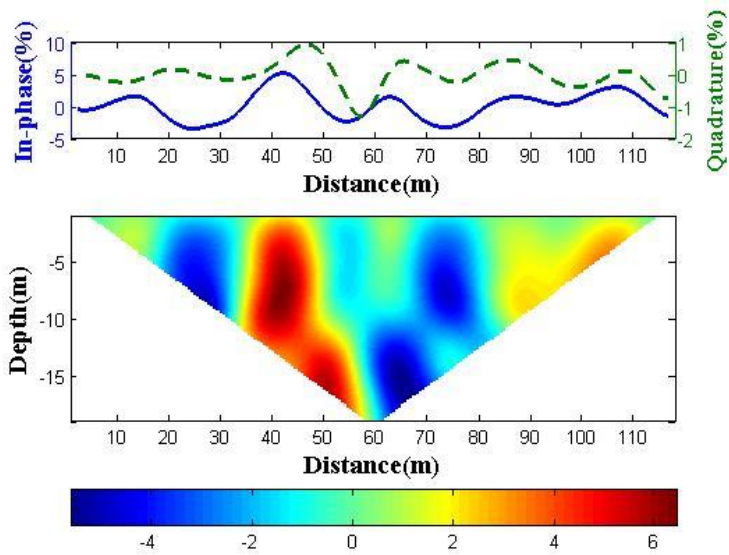
Hasil dari Filter Fraser dan Karous-Hjelt pada lintasan 1



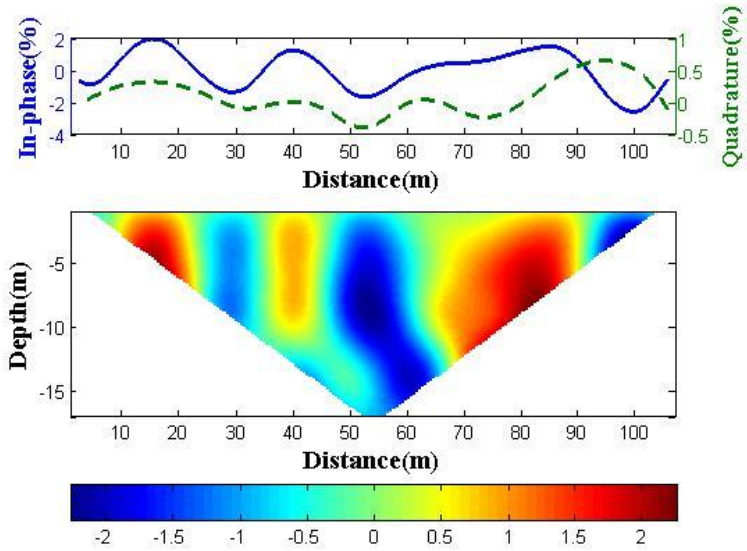
Hasil dari Filter Fraser dan Karous-Hjelt pada lintasan 2



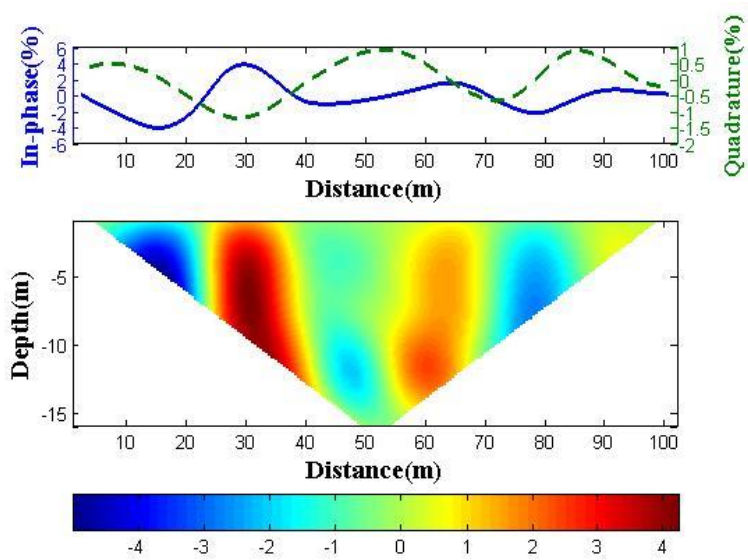
Hasil dari Filter Fraser dan Karous-Hjelt pada lintasan 3



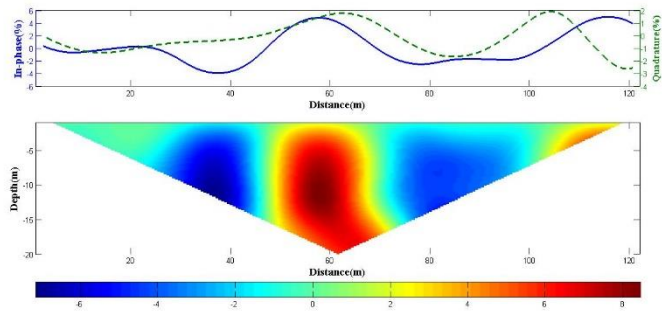
Hasil dari Filter Fraser dan Karous-Hjelt pada lintasan 4



Hasil dari Filter Fraser dan Karous-Hjelt pada lintasan 5

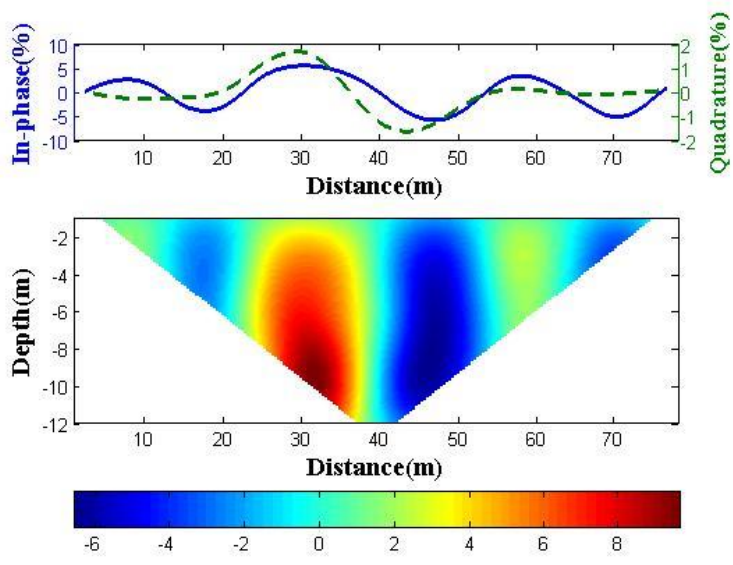


Hasil dari Filter Fraser dan Karous-Hjelt pada lintasan 6



Hasil dari Filter Fraser dan Karous-Hjelt pada lintasan 7





Hasil dari Filter Fraser dan Karous-Hjelt pada lintasan 8

## **RIWAYAT PENULIS**



Muhammad Adi Putra lahir di Lumajang pada tanggal 11 Oktober 1993. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan suami istri bernama Gatot Trisno Adi dan Khoirun Nisa. Pendidikan dimulai pada TK Muslimat II, SD Islam Tumpokersan Lumajang (2000-2006), SMP Negeri 1 Lumajang (2006-2009), SMA Negeri 2 Lumajang (2009-2012). Kemudian penulis meneruskan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2012 hingga 2017.

Selama perkuliahan penulis pernah terlibat menjadi staff departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himasika ITS periode 2013/2014, Kepala Biro Kaderisasi PSDM Himasika ITS periode 2014/2015.

Kegiatan penulis di bidang akademik berupa asisten Laboratorium Fisika Bumi di mata kuliah Fisika Laboratorium mulai pada semester 9. Di awal tahun 2016 penulis berkesempatan untuk bekerja Praktik di PT ELNUSA (Persero) di bagian Departemen Geoscience Seismik Data Processing. Pada masa kerja praktek penulis memilih untuk mempelajari Pengolahan data Seismik 2D darat.

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***